



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Aplicación de las algas marinas para la bioadsorción de
compuestos fenólicos en aguas residuales: Revisión sistemática, 2020

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniera Ambiental

AUTORA:

Alvis Hernandez, Yesica Delia (ORCID: 0000-0002-4559-0644)

ASESOR:

Dr. Milton Cesar Túllume Chavesta (ORCID: 0000-0002-0432-2459)

LINEA DE INVESTIGACION

Calidad y gestión de los recursos naturales

Lima – Perú

2020

Dedicatoria

El presente proyecto de investigación se la dedico a mis padres que son la razón de mi vida y motor fundamental de mis logros.

A mis hermanas Anali e Isabel por impulsarme a seguir adelante en este proceso.

Esto es posible gracias ustedes.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por la vida y por darme fuerzas de culminar este proceso largo.

A mis padres, hermanas y familia por el apoyo incondicional, por ser mi soporte y motivo para seguir logrando mis metas

A mi asesor Milton Cesar Túllume Chavesta por la guía y apoyo que me brindo para lograr redactar mi tesis.

Gracias a todos ustedes.

Índice de contenidos

I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEORICO	4
III. METODOLOGIA	14
3.1. Tipo y diseño de investigación	14
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística	15
3.3 Escenario de estudio	17
3.4. Participantes	17
3.5. Técnicas e instrumento de recolección de datos	18
3.6. Procedimiento	18
3.7. Rigor científico	22
3.8. Método de análisis de datos	22
3.9. Aspecto ético	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1. Selección de estudios	24
4.2 Características de los estudios incluidos en la revisión	26
4.3. Especies y tipos de algas incluidas en el estudio	30
4.4 Parámetros tomados en cuenta en el proceso de bioadsorción de los estudios incluidos	32
4.5 Parámetros óptimos para el máximo porcentaje de remoción según los estudios incluidos	34
VI. CONCLUSIONES	40
VII. RECOMENDACIONES	41
BIBLIOGRAFIA	42
ANEXO	48

Índice de tablas

Tabla 1. Matriz de categorización apriorística	21
Tabla 2. Estrategia de búsqueda	23
Tabla 3 Criterios de inclusión	25
Tabla 4. Matriz de las características de los estudios seleccionados	31
<i>Tabla 5. Matriz de especies y tipos de algas incluidas en el estudio</i>	35
Tabla 6. Matriz de parámetros para el proceso de bioadsorción	37
Tabla7. Matriz de parámetros óptimos para el máximo porcentaje de adsorción	39

Índice de figuras

Figura 1. Clasificación de las algas.....	9
Figura 2 Gráfico de adsorción por intercambio	10
Figura 3. Estructura de los compuestos fenólicos contaminantes.	14
Figura 4. Etapas realizadas en la investigación	21
Figura 5. Proceso de obtención de investigaciones incluidas	25
Figura 6. Gráfico de los países donde se desarrollaron los estudios.....	29
Figura 7. Gráfico de año de publicación de los estudios incluidos.....	29
Figura 8. Tipo de alga empleadas en los estudios.....	31
Figura 9. Capacidad máxima de adsorción.....	35
Figura 10. Concentración de fenol de los estudios incluidos	36

RESUMEN

Las aguas superficiales contaminadas por diversos tipos de industrias, como industrias de madera, papel, resinas, pinturas, cartón, textiles, plásticos y entre otros, contienen diferentes tipos de compuestos fenólicos. Los fenoles son sustancias tóxicas y muchos de los compuestos fenólicos son cancerígenos conocidos o sospechosos. Por ende, es de suma importancia eliminar los fenoles y compuestos fenólicos de las aguas contaminadas residuales, antes de descargarlos en cualquier cuerpo de agua. Se han utilizado varios adsorbentes para el tratamiento de aguas residuales y la eliminación de compuestos fenólicos. Uno de los adsorbentes biológicos que mayor efectividad tiene en el tema de bajo costo y menor residuos generados, es con el uso de las algas. En esta investigación se realizó la recopilación de artículos científicos que usan las algas como tratamiento en la eliminación de compuestos fenólicos, teniendo en cuenta los parámetros de pH, tiempo de contacto, dosis, concentración inicial de fenoles, concentración inicial de fenoles, porcentaje de remoción, entre otros. Discutimos los tipos de algas empleadas, los parámetros de las algas como biomasa y los parámetros en el proceso de adsorción, comparando los resultados de cada investigación recopilada para realizar un análisis de los parámetros óptimos.

Palabras claves: Bioadsorción, compuestos fenólicos, fenoles, algas marinas, aguas residuales.

ABSTRACT

Surface waters polluted by various types of industries, such as wood, paper, resin, paint, cardboard, textiles, plastics and others, contain different types of phenolic compounds. Phenols are toxic substances and many of the phenolic compounds are known or suspected carcinogens. Therefore, it is of utmost importance to remove phenols and phenolic compounds from polluted wastewater, before discharging them into any water body. Various adsorbents have been used for wastewater treatment and removal of phenolic compounds. One of the most effective biological adsorbents in terms of low cost and less waste generated, is with the use of algae. In this research, the compilation of scientific articles that use algae as a treatment in the elimination of phenolic compounds was carried out, taking into account the parameters of pH, contact time, dose, initial concentration of phenols, initial concentration of phenols, removal percentage. , among others. We discuss the types of algae used, the parameters of the algae as biomass, and the parameters in the adsorption process, comparing the results of each collected research to perform an analysis of the optimal parameters.

Keywords: Bioadsorption, phenolic compounds, phenols, seaweed, wastewater.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación de las fuentes acuáticas son un gran problema a nivel mundial y en especial en nuestro país, ya que se desconoce en mayor o menor grado, que convivimos con sustancias químicas contaminantes, que pueden perturbar a nuestra salud, en la productividad de la económica, en el ecosistema y en la calidad de los recursos de agua dulce (UNESCO 2017, sp). La mayoría de las actividades humanas que se benefician al utilizar el recurso hídrico generan aguas residuales, siendo el nivel de contaminación cada vez más elevado. Los metales pesados y compuestos fenólicos presentes en los cuerpos de agua tienen efectos tóxicos y acumulativos a través de la cadena alimenticia que causa un problema ambiental mundial (Sternberg y Dom, 2020, p 36)

En el caso de américa latina el suministro de agua es poco abastecido para la población, siendo el 70% de las aguas residuales que no cuentan por un tratamiento de agua residual adecuado. También en el Perú solo el 30% de la inversión pública es destinado en el tratamiento de aguas residuales de acuerdo al Plan Nacional de Saneamiento Urbano y Rural 2017-2021 (Larios, 2015, p 54). Esto genera un problema porque cada vez los estándares de descarga de efluente van en aumento y esto genera buscar alternativas de tratamientos adecuados que permitan un beneficio económico, ecológico y sostenible (Mahvi, 2008, p 23)

En el país los centros refinadores e industrias de papel, plástico, tinta, entre otros; sus aguas residuales contienen una gran cantidad de contaminantes orgánicos, principalmente hidrocarburo, amoniaco, sulfuro, aceite y grasas, metales pesados y compuestos fenólicos, siendo este último una amenaza trágica y criminal para el medio ambiente por su elevada toxicidad, bioacumulación y su estabilidad los habilita a permanecer por largo tiempo, causando daños en el medio acuático y en la salud humana. Según los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) en el Decreto Supremo N° 004-2017- MINAM, los niveles de los compuestos fenólicos en aguas pueden ser potabilizadas con desinfección a un valor máximo de 0.003 mg/L. Por otro lado, la Organización mundial de la Salud (OMS) es más estrictos en la regulación de fenol estableciendo 0.001 mg/L como límite de concentración de fenol en el agua potable.

El fenol y todos los derivados metílicos del fenol son altamente tóxicos, encontrándose en la lista de contaminantes prioritarios según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (Muñoz 2014). Por otro lado, los estudios demuestran que consumir agua contaminada con fenoles es perjudicial para la salud, dañando el sistema nervioso, el corazón, los riñones y el hígado generando náuseas, diarrea y dolor de cabeza, esto según Yahaya, et al (2019). En el caso de los animales como los ganados pueden generar daños en el sistema circulatorio, gastrointestinal, respiratorio y reproductivo.

Los tratamientos más utilizados en la eliminación de fenoles en aguas residuales son con carbón activado, silicatos y resinas poliméricas, al ser consideradas más eficaces por su gran superficie, naturaleza microscópica, alta capacidad de adsorción y facilidad de disponibilidad. Sin embargo, debido al alto costo de los mismos se ha intentado desarrollar absorbentes alternativos de bajo costo (Radeke et al, 1993, p 99). Este es el caso de la biotecnología que emplea el uso de desechos industriales como algunos materiales de recursos naturales. Siendo de gran interés por los diversos métodos de remoción de fenoles, como la biosorción que es un proceso pasivo con un mecanismo netamente fisicoquímico, mediante biomasa no viviente donde los componentes de gases o soluciones líquidas pueden separarse entre sí. (Diyauddeen 2016, p 8).

Por lo tanto, Zhang et al (2017) menciona que la biotecnología ha centrado la atención en las algas marinas, debido a que estas producen el oxígeno necesario para la degradación de contaminantes como el fenol, los hidrocarburos aromáticos policíclicos y entre otros. El proceso de bioadsorción usando las algas incluye muchas ventajas, como bajo costo de producción y mantenimiento, lo que hace un uso completo de la energía renovable (Papazi et al. 2019). Así mismo el uso de las algas contribuye con la reducción de la proliferación de algas, ya que se encuentra en grandes cantidades en las orillas de las playas, siendo consideradas por la mayoría como desechos (Cuizano 2019, p 57).

Ante la realidad problemática la presente investigación busca recopilar información de diferentes estudios que aplican las algas como bioadsorbente para la remoción de compuestos fenólicos en aguas residuales. Por ende, nos

formulamos la siguiente pregunta general: ¿En qué medida la aplicación de las algas marinas influye en la bioadsorción de compuestos fenólicos en aguas residuales? Del mismo modo, los problemas específicos son: ¿Qué tipos de algas son aplicadas para la bioadsorción de compuestos fenólicos en aguas residuales?, ¿Cuáles son los parámetros en el proceso de bioadsorción de compuestos fenólicos en aguas residuales? Y ¿Qué parámetros son óptimos para una máxima adsorción de compuestos fenólicos en aguas residuales?

Por ende el objetivo general de la presente investigación es: Evaluar la eficiencia de la aplicación de las algas en la biosorción de compuestos fenólicos en aguas residuales, mientras que los objetivos específicos son: Describir los tipos de algas que se aplican en la biosorción de compuestos fenólicos en aguas residuales; Identificar los parámetros para el proceso de biosorción de compuestos fenólicos en aguas residuales y Analizar los parámetros óptimos para una máxima biosorción de compuestos fenólicos en aguas residuales según las investigaciones incluidas.

Como justificación del estudio, en primer punto, busca contribuir al exceso de proliferación de algas que se encuentran en gran cantidad en el litoral, siendo parte de la contaminación al ser considerada residuos, como segundo punto con la aplicación de las algas se busca remediar las aguas contaminadas por compuestos fenólicos, reduciendo y minimizando así el impacto de la contaminación que afecta no solo al medio acuático si no al medio que nos rodea. Por otro lado, la presente investigación brinda una alternativa económicamente viable, debido a que la bioadsorción es un área de investigación latente como muchos aportes en la comunidad industrial, al ser considerada como tecnología limpia para la eliminación de compuestos orgánicos e inorgánicos de las aguas residuales o desechos de las actividades. Por último, al reducir la cantidad de compuestos fenólicos en las aguas contaminadas se evitará futuras complicaciones en la salud, puesto que, en altas concentraciones, son consideradas tóxicos y dañinos para la salud.

II. MARCO TEORICO

En la presente investigación se ha recopilado estudios de distintos autores, las cuales tienen relación con las variables:

Gholizadeh, et al (2013) en su estudio utilizaron ceniza de salvado de arroz (CSA) y biomasa de algas pardas de la especie *Cystoseira indica* para tratar compuestos fenólicos en agua contaminada comparando los resultados con el Carbón Activado Granular (GAC), se estudiaron en efecto del tiempo de contacto, efecto del pH, efecto de concentración inicial de los compuestos fenólicos y efecto de dosis en el proceso de biosorción, donde determinó utilizando cromatografía líquida de alta resolución. El estudio tiene como resultado una eliminación de 4.85 mg/g de fenol, 4.28 mg/g de 2-clorofenol y 4.47 mg/g de 4-clorofenol a un pH de 7.5 y 7. El GAC, fue mayor la eficiencia y la capacidad de adsorción a diferencia de los otros absorbentes también fue mayor.

Rubín, et al (2006), utilizó la macroalga *Sargassum muticum*, un tipo de alga invasora de Europa, donde estudio la eficacia de este biosorbente midiendo la absorción en equilibrio. Luego, se utilizó el modelo de Lagergren de primer orden para medir la capacidad de absorción. En conclusión, tuvo como resultado una capacidad máxima de sorción de 251 mg/g para 4-clorofenol y 79mg/g para 2 clorofenol; así como la combinación de ambos se obtuvo como resultado una capacidad máxima de 108 mg/g.

Navarro, et al (2016) en su investigación utilizaron las algas *Sargassum sp* (SG), *Chaetomorpha sp* (CM), *Chlorella vulgaris* (CV), *Osmundaria* (OD) y *Ulva lactuca* (UL). se evaluaron el efecto de pH, dosis y concentración de fenol. Se determinó mediante espectrofotometría UV la estabilidad del fenol, donde el SG y CM tenían mayor adsorción. Dando como resultado que a pH 10, a concentración de 100mg/L y una masa de 40 de SG, se obtuvo una capacidad máxima de adsorción de 82.1 % (MDPI).

Qassim (2013) usó el peciolo de palma como biosorbente para reducir compuestos fenólicos en soluciones acuosas. Dicha investigación analizó el efecto del pH, la dosis y el tiempo de contacto, y obtuvo como resultado el aumento del

pH a neutro, asimismo el aumento de la capacidad de adsorción de los fenoles y el aumento de la dosis de palma de peciolo a 0.5g/ 0.1L y del mismo modo, aumenta la tasa de adsorción de los compuestos fenólicos.

Por otro lado, Aravindhan, et al (2009) indicaron que el uso de una macro alga verde *Cauplerpa scalpelliformis*, actúa como biosorbente para la eliminación de compuestos fenólicos del corriente seccional post curtido, considerando los efectos de la concentración inicial del fenol, el tiempo de contacto, la temperatura y el pH inicial. Se realizó mediante un modelo de isoterma de adsorción de Langmuir. La cinética lo describió mediante un modelo pseudo segundo orden, donde dio como resultado una capacidad máxima de adsorción a 20 mg de fenol por gramo de alga. Mejor redacción no entender.

Petrovic y Simonic (2016) señalaron que los efectos de concentración inicial de los metales, la temperatura en las bioadsorciones y la eficiencia de la eliminación valores de pH iniciales de 5, fueron considerados en el proceso de bioadsorción. Además, las capacidades máximas de adsorción de Cu, Ni y Cd fueron 179,90, 86.49, 164.50 mg/g respectivamente de bioadsorbente obtenidos por el modelo de isoterma de Langmuir. Por otro lado, la eficiencia de eliminación de Cu disminuyó en un 5-7% mientras que los casos de Cd y Ni disminuyeron hasta un 30%, esto significa que la *Chlorella sorokiniana* inmovilizada con alginato es logro mayor adsorción en la eliminación de metales pesados.

Abdallah (2013) usó como biosorventes algas pardas (*Padina pavonia*), macrofitas de agua dulce (*Ceratophyllum demersum*) y residuos del té negro para la eliminación de fenol en aguas acuosas, se identificaron en condiciones óptimas de concentración y pH. Los resultados fueron un 77 % de capacidad máxima de absorción de fenoles con *C. Demersum*, 29% para alga parda y 50 % para los residuos de té negro. Por consiguiente, estos resultados son influenciados por el pH siendo el más óptimo de 6-10, este último valor con mayor adsorción al 84% con el residuo del té. Asimismo, Jilani (2015) también utilizó el té verde y té negro, el cual obtuvo como resultado rendimientos máximos de biosorción $47,61 \pm 11,57$ y $99,68 \pm 5,25$ mg/g respectivamente.

Guha, et al (2018) optó por el uso de una cepa de cianobacterias *Leptolyngbyasp*, en la biorremediación de fenoles en aguas residuales. Se estudió el crecimiento de la cepa en diferentes condiciones, variando la concentración de fenol de 50 – 150 mg/L de concentración de fenoles, pH de 5-11 y tamaño de inocuo 2-11%. La eliminación máxima de fenol fue de 98.5 +- 0.14%, se dio con concentración inicial de 100 mg/L. 5% de inocuo a pH 11 y concentración máxima de biomasa seca de 0.38+-0.02 g/L.

Xiao (2019) utilizó en su estudio la microalga *Chlorella vulgaris* en el tratamiento de aguas residuales estudiando las características del cometabolismo de fenol y p-cresol por *Chlorella vulgaris*, la degradación del fenol, la eliminación del nitrógeno amoniacal, entre otros factores. Los resultados mostraron que la *Chlorella vulgaris* tuvo concentraciones más altas con el fenol de 800 mg/L y para el p-cresol 400mg/L. Por lo tanto, el alga utilizada tiene un gran potencial en el tratamiento bioquímico de agua residuales.

Lasli, et al (2020) en su estudio de investigación utilizó hojas muertas de *Posidonia oceánica* (PO) inmovilizadas en perlas de alginato de calcio. Tuvo en cuenta la concentración inicial de fenol de 100-500 mg/L, dosis de la biomasa de 0.05-10.1 mg por 50 ml de solución y proporción de perlas de alginato a solución (1/10 – 2/10). La metodología aplicada fue por medio de superficie de respuesta (RSM) basada en el diseño compuesto central (CCD). Como resultado del estudio se obtuvo una capacidad máxima de biosorción de aproximadamente 127 mg/g a 500mg/g inicial.

Zazouli, Balarak y Mahdavi (2013) sostienen que el efecto de parámetros operativos como el pH, el tiempo de contacto, la concentración de Triclorophenol, la dosis de absorbente sobre la eficiencia de eliminación de TCP y por último la concentración de TCP se calculó por espectrofotómetro. Como resultado se obtuvieron que la Arzolla logró eliminar el 95% de TCP de la solución según los datos de equilibrio siguen la isotérmica de Langmuir y modelo.

Lee, et al (2015) utilizaron como biosorventes la *spirulina máxima*, identificando que el crecimiento de esta alga era capaz de crecer en fenol con concentración hasta 400 mg/L; Del mismo modo, el resultado se obtuvo una

eliminación de fenol de hasta el 97.5% debido al potencial biodegradación de las algas que más que un proceso de absorción, donde el 30% del contenido del fenol se encontraba en la fracción celular.

Castro y Garzón (2014), utilizaron microorganismos *p.aeruginosa* y *Chorella vulga* para eliminar fenoles en soluciones acuosas. Como metodología emplearon un modelo cinético para la predicción de la velocidad de reacción en respuesta a diferentes concentraciones de sustrato. asimismo, se estableció interacción entre los dos microorganismos para analizar su función y ver cómo se lleva a cabo con el contaminante. Como resultado en concentraciones altas de fenol surge un efecto inhibitor leve sobre unas bacterias. Bajo condiciones para la adaptación del consorcio *p.aeruginosa- Chorella vulgaris* fue posible obtener una remoción del fenol en 57% a partir de una concentración de 230ppm de solución en 52 horas.

Según Alves, et al (2020), corroboraron la utilización de espirulina y quitosano sintetizado para obtener espuma híbrida; luego utilizaron modelo cinético en diferentes velocidades, como resultado obtuvieron una capacidad máxima de adsorción de 447,6 mg con el modelo cinético de pseudo segundo orden. En el mismo caso, Nguyen (2015) utilizó el quitosano en perlas con el uso de glutaraldehído como agente reticulado, variando el pH y la concentración de fenol. También uso el modelo cinético e isotérmico. La capacidad de biosorción fue de 28.4 mg/g a pH 2 y 313K. Igualmente Batista, et al (2015), utilizaron una metodología de inmovilizar con perlas de quitosano reticuladas con glutaraldehído. Investigó el rendimiento y la reutilización de la enzima en el proceso de eliminación del ácido del café. Como resultado la enzima libre e inmovilizada mostro similitudes en algunas condiciones tales como el pH, la cantidad de H₂O y el ácido cafeico.

Asimismo, Converti, et al (2015) utilizaron el quitosano y queratina a 20-50°C, pH 5-10 y dosis fija de 10g/L. Luego, se realizó mediante modelo cinético de pseudo segundo orden, teniendo una capacidad de sorción de 4.51 mg/L con queratina y 2.87 mg/L con quitosano, donde el quitosano fue más efectiva en la eliminación del fenol de acuerdo las isotermas de equilibrio de Freundlich.

Vacca, et al. (2012) evaluó la eficiencia de una columna de adsorción empacada con carbón activado granular, a partir de bagazo de caña, para

eliminación de compuestos fenólicos. La saturación de lecho absorbente al alcanzo después de 12 horas y 20 min de operación continua, para cada TRH aplicado; luego de las cuales se detectó la presencia de compuestos tóxicos. Como resultado se obtuvo una eficiencia promedio en la DQO de 67,09% y 73.93%. En conclusión, se demostró la factibilidad de absorción de los compuestos orgánicos tóxicos presentes en el agua residual.

Por otro lado, Singh y Balomajumder (2016) investigó con *pseudomonas putida* inmovilizada con carbón activado de cascara de coco, estudiando el pH, dosis, tiempo de contacto, temperatura y concentración inicial. Los resultados obtenidos fueron mayor eficiencia de eliminación de fenol en células libres con 77.36% considerando 6 modelos de isoterma de equilibrio.

A continuación, detallamos las definiciones conceptuales de las variables de investigación. Comenzaremos por definir que son las algas y de hecho existe diferentes definiciones por ser un grupo muy amplio heterogéneo, en otras palabras, sencillas se define como plantas marinas. Para Ibañez (2011), define las algas como organismos autótrofos fotosintéticos que son capaces de generar su propia energía a través de la radiación solar, así mismo difiere en cuanto a su origen, línea evolutiva y otros parámetros bioquímicos. Las algas comprenden una variedad de organismos de diferentes grupos filogenéticos, que comprenden más de 30.000 especies, Dividiéndose en macroalgas multicelulares y microalgas unicelulares (Ariade, et al 2017). Según la FAO (2012) Las macroalgas están organizadas por algas verdes (Chlorophyta), rojas (Rhodophyta) y pardas de acuerdo a su pigmentación, siendo las más grandes en longitud las algas pardas (Phaeophyceae). Por otro lado las Cyanophyceae, también llamadas microalgas, son algas microscópicas unicelulares que crecen de forma natural, estas suelen contaminar el agua de los ríos y cursos de agua.

Clasificación	Nombre común	Pigmentos	Ejemplos
Clorophyta	Algas verdes	Clorofilas a y b, Xantófilas (luteína, violaxantina, neoxantina y enteroxantina)	Ulva spp., Codium spp.
Phaeophyta	Algas pardas	Xantofilas (fucoxantina y flavoxantina) y Clorofila a y c	Laminaria spp., Lessonia spp., Sargassum spp., Durvillaea spp.
Rhodophyta	Algas rojas	Ficoeritrina, ficobilina, clorofilas a y d	Gracilaria spp., Palmaria spp., Porphyra spp.

Figura 1. Clasificación de las algas

Fuente: Quitral, Morales, Sepulveda y Schwartz (2012)

La capacidad de adsorción y remoción que tienen las algas es por los alginatos, que, según Avendaño, et al (2013) son polisacáridos, las cuales se encuentran en las algas marinas, comprendiendo un 40% de su masa seca. Asimismo, este es el componente estructural de la pared celular, cuya función principal es brindar rigidez, flexibilidad, elasticidad y la capacidad de enlazar agua. Los alginatos principalmente son extraídos de las algas *Macrocystis pyrifera*, *Laminaria Hyperborea* y *Ascophyllum nodosum*. Asimismo, presentan una mezcla de sales de cationes (Ca^{+2} , Mg^{+2} y Na^{+}), las cuales generalmente se encuentran en el agua de mar.

Las propiedades químicas del alginato implican principalmente la presencia de compuestos que compiten con otras moléculas de alginatos por el agua necesaria para su hidratación. La presencia de azúcares, almidón o proteínas en el agua reducirá la proporción de hidratación y se requerirán mayores tiempos de mezcla. Por lo tanto, es recomendable agregar las sustancias extra a las formulaciones base después de que el alginato fue hidratado y disuelto. La presencia de pequeñas cantidades de cationes polivalentes inhibe la hidratación de los alginatos y proporciones elevadas de los mismos causan su precipitación (Elizondo y Mendoza, 2018, p 29).

Otras propiedades y características según Ahmed (2019) es la formación de gel, que independientemente de la temperatura pueden formar geles tanto ácidos y iónicos a diferencia de otros polisacáridos, también el peso molecular, cuya característica determina la viscosidad, rigidez y la extensión de la cadena, la

solubilidad y viscosidad que es una de las características físicas principales, ya que estas soluciones tienen una alta concentración de viscosidad que depende de la concentración y estructura molecular, así como el grado de polimerización. La viscosidad puede ser muy variable dependiendo de los siguientes factores: peso molecular, concentración, temperatura, pH y fuerza iónica.

Para el método de extracción, existen dos métodos fundamentales para el alginato de sodio. En el primer método los principales mediadores son alginato de calcio y ácido algínico. En el segundo método solo se forma ácido algínico. En ambos métodos se utiliza agua o alcohol como solvente en la conversión del ácido algínico a alginato de sodio, consiguiendo resultados muy diferentes. En el proceso para alginato de calcio el solvente es agua, mientras que para el proceso de ácido algínico es alcohol, debido al alto contenido de agua en ella (Arvizu et al, 2002, p 21). En este proceso complejo se realiza cambios físicos como químicos para la obtención de hidrogel u otros productos específicos que comprenden los diferentes usos.

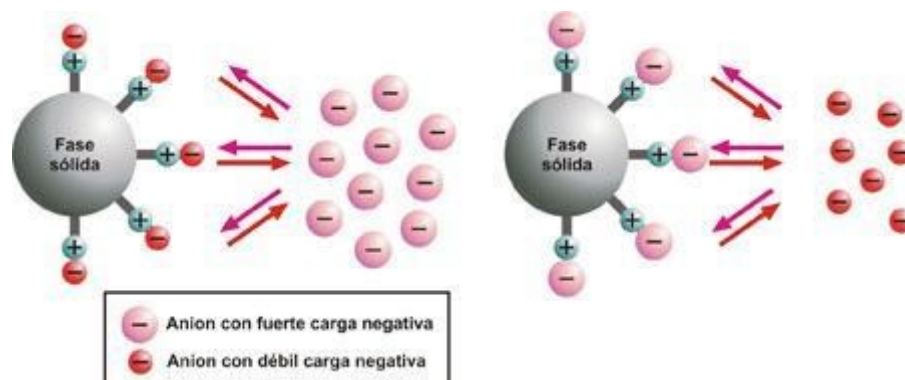


Figura 2 Gráfico de adsorción por intercambio
Fuente: Chikizurita (2015)

Por otro lado, según López (2017, p 5) la biosorción es un proceso en el que el soluto y adsorbente se atraen por fuerzas electroestáticas, esto quiere decir que los iones están cargados de signo contrario, siendo los del soluto concentrados en la superficie, por otro lado, si hay absorbatos similares serán absorbido el de mayor carga (Figura 1). Así mismo (Kulkarni y Kaware, 2013) dice que es un proceso físico importante y de bajo costo para el tratamiento y renovación de aguas residuales. Aprovecha la capacidad de ciertos sólidos para concentrar preferentemente sustancias específicas de la solución en sus superficies. De esta manera, los componentes de gases o soluciones líquidas pueden separarse entre sí. Los

investigadores han probado varios adsorbentes no convencionales como serrín, médula de bagazo, ceniza de cáscara de arroz, polvo de cáscara de coco activado, carbón de leña de madera quemada controlada, cenizas volantes, turba, madera y fibras de yute.

Los compuestos fenólicos en general se pueden eliminar mediante técnicas convencionales como extracción con disolventes, adsorción, oxidación, oxidación química, incineración y otros métodos de tratamiento no biológicos. Presentaron resultados satisfactorios en remediación de fuentes de agua algunas aplicaciones que emplearon tecnologías no biológicas. El proceso de oxidación fotocatalítica heterogénea empleando luz UV y TiO_2 se ha convertido en opciones prometedora para la degradación de contaminantes orgánicos persistentes, produciendo sustancias degradables y menos tóxicas para el medio ambiente. Pero estos métodos traen consigo serios inconvenientes, como el alto costo, y formación de subproductos peligrosos. (García, et al, 2007)

La eliminación de fenol por el proceso de adsorción sigue siendo el mejor tratamiento que existe en los últimos tiempos, ya que generalmente puede eliminar todo tipo de fenoles en una operación simple y fácil. Los parámetros que han ido investigando para optimizar el uso de adsorbentes no convencionales en el tratamiento de aguas residuales incluyen la naturaleza del adsorbato y el adsorbente, la concentración del adsorbato, la dosis, el tiempo de contacto, pH de la solución, el tamaño de partícula de adsorbente, los parámetros termodinámicos, etc. (Sing y Srivastava, 2002)

El estudio de la literatura muestra que se ha estudiado una gran cantidad de adsorbentes alternativos para reemplazar el carbón activado. Tanto los desechos industriales como algunos materiales de recursos naturales como la bentonita, residuos de almazara, ceniza de cáscara de pistacho, cáscara de coco, cubierta de semilla de caucho, extracto de semilla de Moringa peregrina, cáscara de arroz, cascara de trigo, barra de yute, residuos de tabaco y cascara de nuez de tamarindo, presentando con opciones de bajo costo.

En los últimos años se ha prestado cada vez más atención a la aplicación de microalgas en cosmética, utilizadas principalmente para tratar el envejecimiento

cutáneo, el bronceado y los trastornos de la pigmentación. Allí también se utilizaron para productos anti-envejecimiento, blanqueadores y reductores de la pigmentación. Las microalgas podrían eliminar compuestos peligrosos en las aguas residuales, ya que producen el oxígeno necesario para la degradación de contaminantes como el fenol, los hidrocarburos aromáticos policíclicos, las hormonas, los antibióticos, farmacéuticos y solventes orgánicos (Cuellar-Bermudez et al. 2015; Razzak et al. 2013). Entre los diferentes miembros biológicos, las cianobacterias y microalgas son altamente adaptables a lo largo de muchos eones, lo que podría hacer un uso completo de la energía renovable (energía solar) y adaptarse a las condiciones de cultivo autótrofas, heterótrofas o mixotróficas. La idea de utilizar microalgas en el proceso de biodegradación fue propuesta por primera vez por Oswald y Gotaas. Pero recientemente ha habido un interés creciente en la comunidad científica. El proceso de bio-remoción usando microalgas incluye muchas ventajas tales como (a) producción y mantenimiento de bajo costo, (b) usa energía barata y abundante a través de la fotosíntesis, (c) producción de productos de alto valor, (d) crecimiento usando inorgánicos nitrógeno y fósforo, y (e) biomasa de algas mediante la reproducción de biocombustibles (Papazi et al. 2019)

Tejada, et al (2015), señalan que el empleo de biomásas como: algas, hongos, bacterias, tienen la ventaja por el bajo costo, alto rendimiento, reducción de los insumos químicos y lodos químicos, en la posibilidad de recuperar metales y regeneración de la biomasa adsorbente. Las causas que afectan al proceso de bioadsorción son las propiedades de biosorbente, el solvente, pH de la solución, tamaño de partícula y el tiempo de equilibrio (Induhmathi, 2014). Del mismo modo, para evaluar el equilibrio de biosorción se realiza mediante 2 modelos matemáticos: el modelo de Freundlich que es el más sencillo de tipo monocapa y el modelo de Lagmuir que reflejan la máxima capacidad de adsorción y el volumen en ml de solución por masa de gramo del adsorbente (Ale Borja, 2015, p 88)

El fenol es una molécula básica que está conformado por un anillo aromático unido a un grupo hidroxilo (OH), donde el anillo aromático juega un papel importante en las propiedades antioxidantes. Según Lezama (2017, p 33) hablar de acuerdo a

los compuestos fenólicos es englobar a todas las sustancias que componen varias funciones fenol, que son estructuras aromática o alifáticas. Los compuestos fenólicos tienen su origen en la mayoría de los vegetales, también son unos de los principales metabolitos secundarios de las plantas y en el reino animal ya que se alimentan de las plantas. Por otro lado los fenoles se encuentran en casi todos los alimentos como la cebolla, el vino, el té, aceite de oliva, etc. Como colorantes y antioxidantes y proporcionan sabor.

De acuerdo a la clasificación de los compuestos fenólicos Peñarrieta (2014, p 3) los clasifica en 7 grupos que son denominados como fenoles simples; estos son compuestos simples que se encuentran presentes en los cereales y tiene propiedades antioxidantes que tienen actividad biológica como los antiparásitos, antibióticos y citotóxicos. Como segundo grupo se encuentra los fenoles ácidos que están comprendidos por ácidos hidroxibenzoicos y los ácidos hidroxicinámicos, este último es más efectivo en actividad antioxidante que la primera. Como tercero las cumarinas que contienen un anillo aromático unido a un heterociclo oxígeno, como ejemplo está el compuesto umbeliferona donde en la posición 7 hay un grupo hidroxilo en el anillo aromático. Las Xantonas, estilbenos y benzofenonas, estos compuestos se encuentran en forma natural en las raíces y frutas exóticas de varias plantas. Sus estructuras se relacionan, ya que están comprendidas por dos anillos aromáticos unidos por cetona, heterocíclicas o grupos vinilo. Las quinonas es otro grupo importante de compuestos fenólicos que está conformado por un anillo diona completamente conjugado, donde poseen propiedades redox y la coenzima Q10 es considerada un potente antioxidante. Las Betacianinas tienen alto contenido de pigmento por lo que se encuentra en los alimentos como la beterraga dándole ese color característico, también se han encontrado en las tunas y en el olulco. Y por último los lignanos y ligninas, los lignanos son compuestos fenólicos dímeros que son derivados de alcoholes y fenilamina presentes en varios alimentos como los granos y hortalizas. Las ligninas son polímeros fenólicos como segundo biopolímero más abundante después de la celulosa.

Con respecto a las aguas residuales industriales los compuestos fenólicos están presentes en forma de detergentes, espumas, en adhesivos, colorantes, productos químicos, etc. Mayormente están en las producciones de las industrias

alimentarias, petroquímicas, la agricultura, a medicina, etc. Por eso existe un gran interés en eliminar esos compuestos eólicos, ya que se encuentra entre los contaminantes más importantes presentes en el medio ambiente.

Los compuestos fenólicos no solo se generan mediante la actividad humana, también están presentes en forma natural (Pérez, 2017, p 10). Ante eso la agencia de protección ambiental de EE.UU (EPA) considera a once fenoles con alta carga contaminante en el ambiente como se muestra en la figura 2.

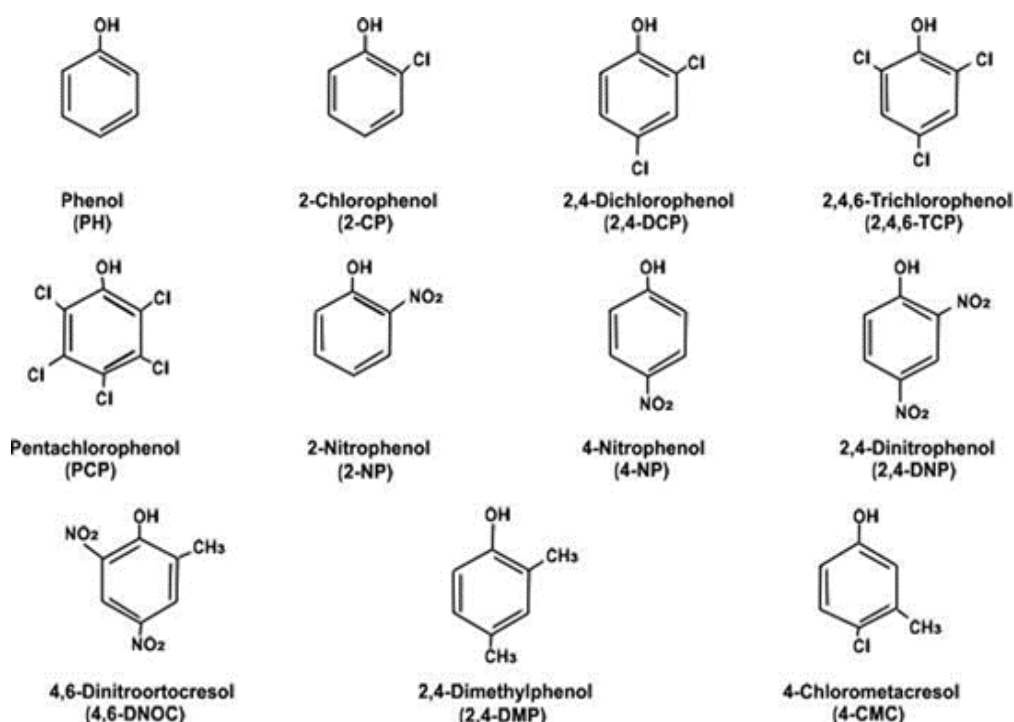


Figura 3. Estructura de los compuestos fenólicos contaminantes.
Fuente: Pérez, 2020

III. METODOLOGIA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación

El tipo de estudio de la investigación es aplicada, porque de acuerdo a las teorías y conocimientos obtenidos se realiza un procedimiento para la

recopilación y selección de estudios a incluir. De acuerdo a Landeau (2007) manifiesta que el estudio aplicado se utiliza cuando el que realiza la investigación aplica los conocimientos para resolver problemas, donde la solución depende del beneficio de individuos o comunidades mediante practica de alguna técnica particular.

Diseño de investigación

El diseño de la presente investigación es cualitativo narrativo de tópicos, ya que se realizó una recopilación de artículos de carácter científico de diferentes fuentes bibliográficas. Según Alarcón y Arroyo (2016, p 471) nos menciona que ejecutar el diseño narrativo de tópicos se necesita que el investigador recopile medios materiales personales y testimonios con respecto al tema a investigar, enfocando en una sola temática.

3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística

A continuación, se presenta en una matriz los objetivos de la investigación con la categoría y subcategorías correspondientes, para luego identificar los criterios tomados en cuenta. (Tabla 1)

Tabla 1. Matriz de categorización apriorística

Objetivos Específicos	Problemas	Categoría	Subcategoría	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
Describir los tipos de algas más usadas en la aplicación de la biosorción de compuestos fenólicos en aguas residuales	¿Qué tipos de algas son aplicadas en la bioadsorción de compuestos fenólicos en aguas residuales, según las investigaciones incluidas?	Tipos de algas	Genero	De acuerdo al tipo de alga (He,2019, p.2-4) (Sarwar, 2017, p.2)	De acuerdo a la especie de alga (Dai, 2020, p. 5)	De acuerdo a la dosis del alga (He,2019, p.2-4)
			Fito extracción			
		Características	pH (Zhoung, 2019, p 5)			
			Cantidad de biomasa			
Identificar los parámetros para el proceso de biosorción de compuestos fenólicos en aguas residuales según las investigaciones incluidas	¿Cuáles son los parámetros incluidos en el proceso de biosorción de compuestos fenólicos en aguas residuales según las investigaciones incluidas?	parámetros en el proceso de biosorción	Proceso de biosorción	De acuerdo a los pH de la solución (McGrath, 2002, p. 36)	De acuerdo a la Temperatura (García, 2002, p.9)	De acuerdo al tiempo de contacto (Gonzales, 2016, p. 30-46)
			Características químicas			
			Características físicas (Lazli, 2016, p. 35-40)			
Analizar los parámetros óptimos para una máxima biosorción de compuestos fenólicos en aguas residuales según las investigaciones incluidas.	¿Qué parámetros son óptimos para una máxima biosorción de compuestos fenólicos en aguas residuales según las investigaciones incluidas?	Parámetros óptimos para máxima capacidad de adsorción	Capacidad máxima de adsorción	De acuerdo al % de adsorción. (García, 2002, p.9)	De acuerdo al grado de toxicidad (He,2019, p.4-5)	De acuerdo a la concentración de fenoles
			Concentración inicial de fenoles			
			Concentración final de fenoles			
			(He,2019, p.4-5)			

Fuente: Elaboración propia

3.3 Escenario de estudio

El escenario de estudio de la investigación se basó en recopilaciones bibliográficas de investigaciones realizadas en función al uso de algas para la eliminación, remediación o reducción de compuestos fenólicos en aguas contaminadas, así mismo el rango de artículos estudiados fueron de los últimos 5 años. Así mismo la mayoría de las investigaciones fueron de los países asiáticos y de la India.

3.4. Participantes

En la presente investigación sistemática se recurrió a diversas bases de datos que contengan las variables de la investigación a analizar, como es el caso de artículos científicos, artículos de revisión y artículos bibliográficos. En el siguiente cuadro se detalla las fuentes consultadas y las palabras de estrategia de búsqueda, que fueron en su totalidad en inglés.

Tabla 2. Estrategia de búsqueda

Participantes	Estrategia de búsqueda
ScienceDirect	"Biosorption of phenol" "algae as phenol biosorbent" "winged phenol removal" "adsorption of phenols with algae"
Scopus	"algae as phenol" "winged phenol removal" "adsorption of phenols"
Scielo	"phenol biosorbent" "phenol removal" "adsorption of phenols with algae"

Pubmed	"Removal phenol" "adsorption of phenols with algae"
Web of Science	"algae for phenol removal" "winged phenol removal" "Biosorption of phenol"

Fuente: Elaboración propia

3.5. Técnicas e instrumento de recolección de datos

Según Yuni y Urbano (2016) mencionan que las técnicas de recolección de datos, son los procedimientos por el cual se conciben informaciones válidas y confiables, para después ser utilizadas como datos científicos. La función primordial de las técnicas de recolección de datos es la observación y registro de los fenómenos prácticos. Con respecto al concepto de instrumento de recolección de datos, se les conoce como instrumentos de medición, este es un dispositivo o mecanismo que el investigador utiliza para generar la información.

La técnica de la presente investigación es mediante una revisión sistemática, que consta de la recopilación y síntesis de investigaciones científicas, el cual permite analizar la base de datos obtenidas en los estudios incluidos, para así responder a las interrogantes planteadas.

3.6. Procedimiento

Para el desarrollo de la presente investigación se realizó usando metodología de revisión sistemática y metaanálisis, la cual consiste en un método estadístico que ayuda a combinar y comparar resultados de varios estudios para estimar un efecto común. Este procedimiento se dividió en 3 etapas (Figura 3):

Primera etapa

En la primera etapa, se formuló las interrogantes y los objetivos deseados para el proyecto de investigación, teniendo en cuenta el tema, la realidad problemática y metodología a usar. Siguiendo se realizó la búsqueda bibliográfica detallada de los estudios que contengan las variables de aplicación de las algas para biosorción y compuestos fenólicos en aguas residuales. Para eso se utilizaron palabras claves que provienen de diferentes recursos digitales como Dialnet, Scopus, Redalyc, Scinece Direct, PMC, ResearchGate, entre otros.

Así mismo se describió de manera objetiva los criterios de inclusión y exclusión, donde se determinó los estudios a analizar. Para eso se tomará como criterio de inclusión los estudios que contengan, las características, parámetros y variables que respondan las preguntas de este estudio, y como criterio de exclusión los estudios que no responden a las interrogantes; así como también los estudios que utilizan otras biomásas, otras metodologías y otras soluciones como es el caso de metales pesados, entre otros.

Segunda etapa

Como segundo paso se dio la selección de los estudios, donde se obtuvieron un total de 36 investigaciones, las cuales se seleccionaron 17 estudios que cumplen con los criterios de inclusión. Se realizó la obtención de datos de forma estandarizada buscando los resultados de los objetivos planteados, teniendo en cuenta las siguientes características descritas en la siguiente tabla 3:

Tabla 3 Criterios de inclusión

Criterio de inclusión
Autor
Tipo de alga
Características del alga
Parámetros de la solución (Tiempo de contacto, pH, dosis, temperatura, etc)
Concentración inicial de fenol en la solución
Concentración final
% de remoción o grado de biosorción

Fuente: Elaboración propia

Luego se combinaron los resultados de los estudios seleccionados, mediante métodos estadísticos.

Tercera etapa

En esta etapa se realizó un análisis de la heterogeneidad de los estudios. Se realizó observando los componentes y elementos del programa a utilizar Revman, el cual muestra el porcentaje de heterogeneidad de los resultados de los estudios. Luego se realiza la discusión de resultados de acuerdo a la interpretación de los mismos. Siguiendo se realizaron las conclusiones sobre el estudio, además de las recomendaciones para futuros estudios.

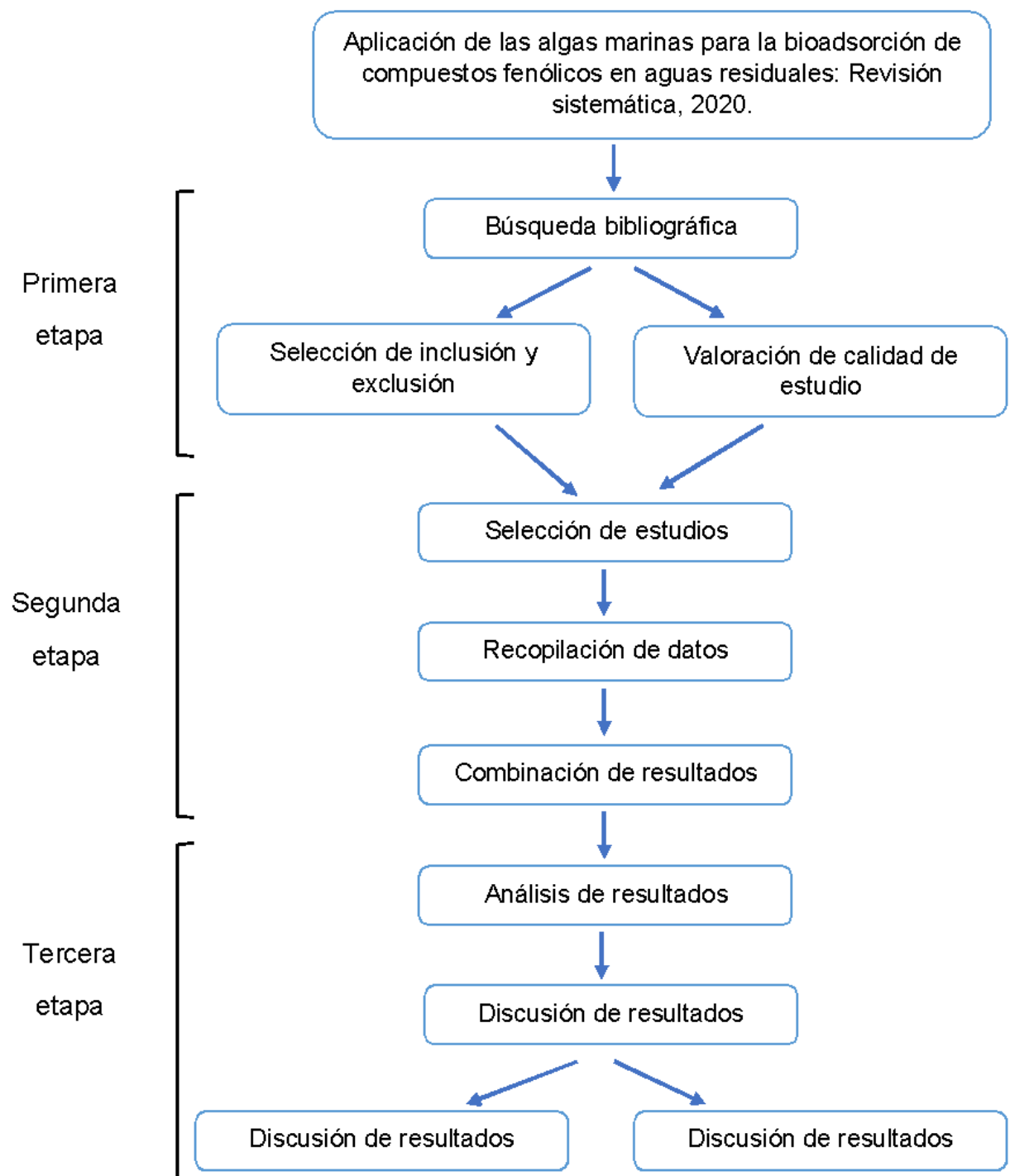


Figura 4. Etapas realizadas en la investigación
Fuente: Elaboración propia

3.7. Rigor científico

El rigor científico surge como concepto fundamental de la investigación basada en el modelo newtoniano, que se basa en doctrinas del reduccionismo poniendo énfasis en el modo analítico de pensamiento. (Arias y Giraldo, 2011). Por otro lado, para validar los instrumentos se requiere saber si en realidad un instrumento es capaz de medir la variable. Además, dicha validez debe reflejar un control certero y exacto del contenido que se desea cuantificar al medir, donde se halla asociada a la generalización y representatividad de los logros de la investigación (Argibay, 2009, p.2).

La confiabilidad debe ser predecible, objetiva y consistente, ya que al aplicarlo de forma repetida se deben obtener datos resultantes iguales del proceso en que se realiza. (Carrasco, 2017, p.339).

3.8. Método de análisis de datos

Es el procedimiento con el cual un todo complejo se extrae en varias partes y caracteres. El análisis permitirá el fraccionamiento del todo en sus variables relacionadas y componentes (Hernández, Fernández y Bautista, 2010, p. 320). El presente proyecto de investigación prosiguió de acuerdo a los datos obtenidos los cuales fueron sometidos a estadística descriptiva mediante tablas y gráficos y estadística inferencial.

3.9. Aspecto ético

Con respecto al aspecto ético Grove, et al (2019, p.100) nos menciona que la confiabilidad es el manejo de la información a criterio personal o datos por el investigador de manera segura, dando garantía a la protección y no divulgación sin su autorización. Por ende, esta investigación tuvo toda evidencia ética que valida la originalidad del estudio, basándose en el Vicerrectorado de Investigación N° 004-2020-VI-UCV, que comprende

todos los lineamientos que se debe de seguir para la correcta elaboración del trabajo de investigación, resolución de investigación. Así mismo la redacción del documento se pasó por el software TURNITIN, en donde se califica mediante porcentaje el índice de plagio, por otro lado, las fuentes de recolección de datos han sido citadas de acuerdo a la Norma ISO 690.

Este estudio contribuirá con la solución de los problemas ambientales que aquejan hoy en día con respecto a los problemas de la contaminación del agua. Por otro lado, las investigaciones obtenidas para la presente investigación fueron en su totalidad de artículos científicos, dándole confiabilidad y veracidad al estudio.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Selección de estudios

La búsqueda con las palabras clave inicial registró 168 artículos entre la base de datos y otras fuentes, de las cuales se seleccionaron 95 en la aplicación de las variables dentro de los artículos, luego, tras la eliminación de los duplicados, revisión de título y resumen se registraron 71 para para ser incluidos. Se excluyeron razonablemente 54 registros por factores no compatibles dentro de su metodología, y un total de 17 artículos cumplieron con los criterios de inclusión. A continuación, en la figura 4 se detalla el proceso de selección.

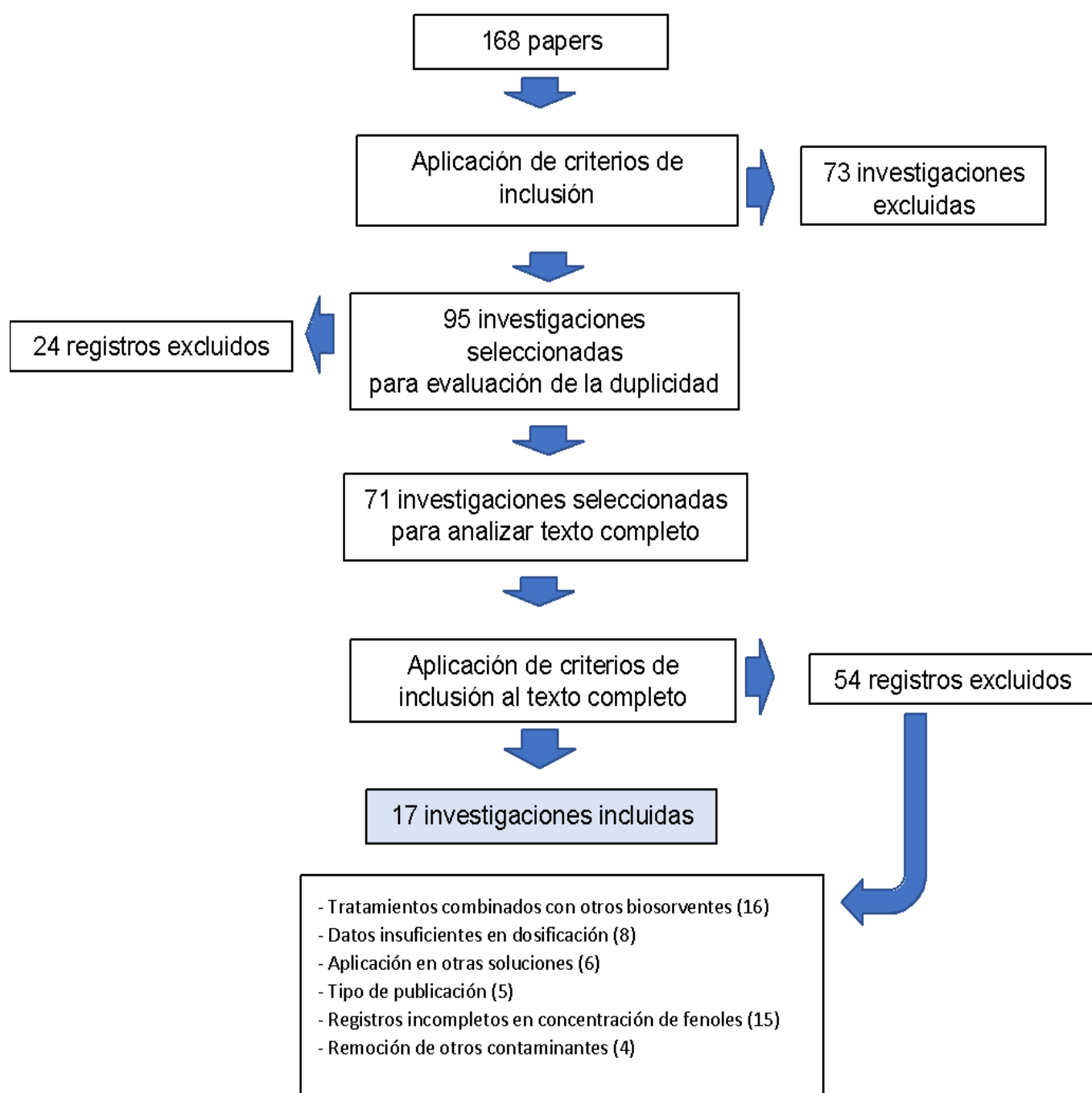


Figura 5. Proceso de obtención de investigaciones incluidas
Fuente: Elaboración propia

4.2 Características de los estudios incluidos en la revisión

Tabla 4. Matriz de las características de los estudios seleccionados

N° Estudio	Autor	Año	Título	Compuesto fenólico	DOI/ URL	País
1	Gholizadeh,Kermani y Gholami	2013	Kinetic and isotherm studies of adsorption and biosorption processes in the removal of phenolic compounds from aqueous solutions: Comparative study	2-clorofenol y 4-clorofenol	https://doi.org/10.1186/2052-336X-11-29	India
2	Das, Mandal, y Patra	2015	A Comprehensive Study on Chlo-rella pyrenoidosa for Phenol Degradation and its Potential	phenol	https://doi.org/10.1007/	China
3	Duan, Meng, Lin y Wang	2017	Toxicological effects of phenolon four marine microalgae	-	https://doi.org/10.1016/j.etap.2017.04.006	India
4	Surkatti y Al-Zuhair	2018	Biosorción de compuestos fenólicos por el alga parda <i>Sargassum muticum</i>	p-cresol	https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.10.022	Emiratos Árabes Unidos
5	Navarro , et al	2013	Biorremoción de fenol de soluciones acuosas utilizando algas nativas del Caribe	-	https://doi.org/10.3390/environments4010001	EE.UU
6	Ahmed y Abdallah	2013	Biosorption of phenolic compounds by the brown alga <i>Sargassum muticum</i>	-	https://doi.org/10.1007/s10661-012-3041-y	India
7	Lazli wassila	2020	Biosorción de fenol por hojas muertas modificadas de Posidonia oceanica inmovilizadas en perlas de alginato de calcio: parámetros experimentales óptimos utilizando un diseño compuesto central	---	https://doi.org/10.17159/wsa/2020.v46.i2.8248	Argelia

8	Aruoja, Sihtmäe, Dubourguier y Kahru	2011	Toxicity of 58 substituted anilines and phenols to algae <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> and bacteria <i>Vibrio fischeri</i> : Comparison with published data and QSARs	Phenol	https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.05.023	Estonia
9	Priyadharshini y Bakthavatsalam	2016	Optimization of phenol degradation by the microalga <i>Chlorella pyrenoidosa</i> using Plackett–Burman Design and Response Surface Methodology	fenol, monoclorofenoles, 2,4-diclorofenol y 2,6-diclorofenol	https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.01.138	India
10	Priyadharshini y Bakthavatsalam	2019	A comparative study on growth and degradation behavior of <i>C. pyrenoidosa</i> on synthetic phenol and phenolic wastewater of a coal gasification plant	phenol	https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103079	India
11	Priyadharshini y Bakthavatsalam	2017	Phycoremediation of phenolic effluent of a coal gasification plant by <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	2-chlorophenol, 2-methylphenol, 2-nitrophenol, 2,4-dimethylphenol, 2,4-dichlorophenol, 4-chloro-3-methylphenol, 2,4,6-trichlorophenol, 2,4-dinitrophenol, 4-nitrophenol and pentachlorophenol.	https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.06.006	India
12	Zhou, et al	2013	Cellular responses and bioremoval of nonylphenol and octylphenol Phycoremediation of coastal waters contaminated with bisphenol A by green tidal algae }	onilfenol (NP) y octilfenol (OP)	https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.10.002	China
13	Zhang, et al	2019	Phycoremediation of coastal waters contaminated with bisphenol A by green tidal algae <i>Ulva prolifera</i>	bisphenol A (BPA)	https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.132	China
14	Wang, et al	2017	Identification of novel pathways for biodegradation of bisphenol A by the green alga <i>Desmodesmus</i> sp.WR1, combined with mechanistic analysis at the transcriptome level	Bisphenol A (BPA)	https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.03.121	China

15	xiao, et al	2019	Characterization of cometabolic degradation of p-cresol with phenol as growth substrate by <i>Chlorella vulgaris</i> .	phenol	https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.02.079	China
16	Kong, et al	2019	Growth behavior, glucose consumption and phenol removal efficiency of <i>Chlorella vulgaris</i> under the synergistic effects of glucose and phenol	-	https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109762	China
17	Wang, et al	2016	Mejora de la cepa de <i>Chlorella</i> sp. para la biodegradación del fenol por evolución adaptativa de laboratorio	-	https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.01.022	China

Fuente: Elaboración propia

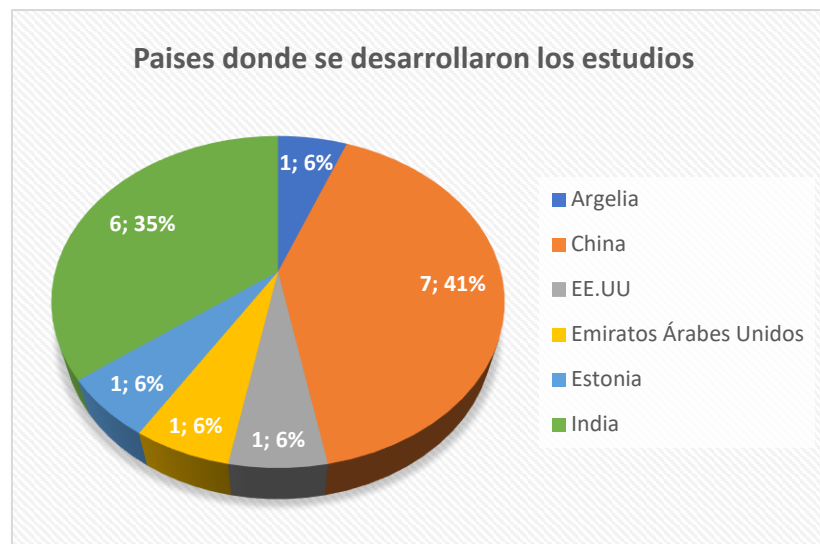


Figura 6. Gráfico de los países donde se desarrollaron los estudios
Fuente: Elaboración propia

Los resúmenes de las características en los estudios incluidos se especifican en la tabla 4. Los estudios tomados en cuentas fueron desarrollados en los países de Argelia, Estados Unidos, Estonia, India, China y Emiratos Árabes Unidos, siendo China e India los países con mayor cantidad de estudios incluidos en la investigación, 7 estudios de China y 6 estudios de la India, que conlleva el 76% de la investigación desarrolladas en dichos países, mientras que los demás países fueron un estudio cada uno. (Figura 6).

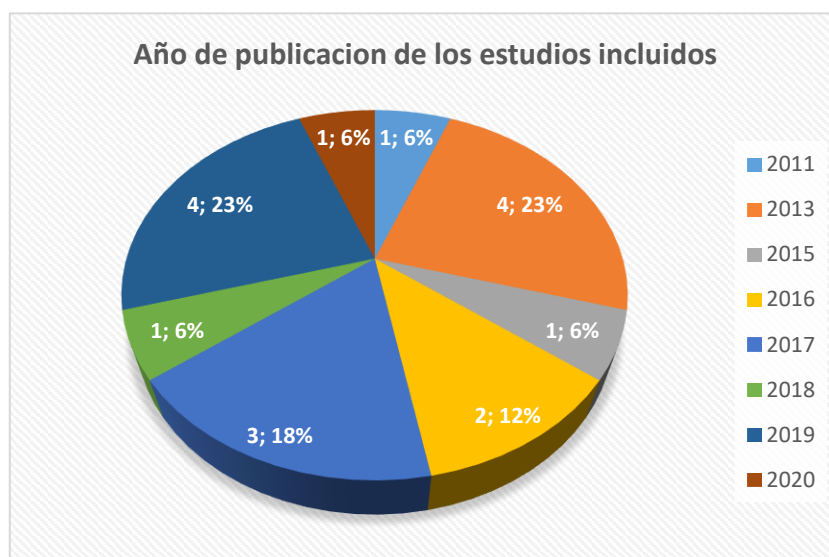


Figura 7. Gráfico de año de publicación de los estudios incluidos
Fuente: Elaboración propia

En la figura 7 se muestra el rango de años de los artículos incluidos en la investigación, que varía desde el 2011 hasta el presente año 2020. Siendo el año 2013 y el 2019 con 4 estudios cada uno, el año 2016 y 2017 con 2 artículos cada uno y los demás años con un estudio cada uno. Esto quiere decir que de los últimos 5 años se incluyeron 12 estudios de los 17.

4.3. Especies y tipos de algas incluidas en el estudio

Tabla 5. Matriz de especies y tipos de algas incluidas en el estudio

N° Estudio	Autor	Año	Especie de alga	Tipo de alga
1	Gholizadeh, Kermani, et al	2013	<i>Cystoseira indica</i>	phaeophyta
2	Das, et al	2015	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	Chlorophyta
3	Duan	2017	<i>Dunaliella salina</i>	Chlorophyta
			<i>Platymonas subcordiformis</i>	Chlorophyta
			<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	Diatomea
			<i>Skeletonema costatum</i>	Diatomeas
4	Surkatti y Al Zuhair	2018	<i>Chlorella sp</i>	Chlorophyta
5	Navarro, Hernandez, et al	2013	<i>Sargassum sp</i>	phaeophyta
			<i>Chaetomorpha sp</i>	Chlorophyta
			<i>Chlorella vulgaris</i>	diatomea
			<i>Ulva lactuca</i>	Chlorophyta
6	Maha Ahmed Mohamed Abdallah	2013	<i>Padina pavonia</i>	phaeophyta
			<i>Ceratophyllum demersum</i>	Chlorophyta
7	Lazli	2020	<i>Posidonia oceánica</i>	Chlorophyta
8	Aruoja, Sihtmäe, et al	2011	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	Chlorophyta
9	Priyadharshini y Bakthavatsalam	2016	<i>Scenedesmus obliquus</i>	Chlorophyta
10	Priyadharshini y Bakthavatsalam	2019	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	Chlorophyta
11	Priyadharshini y Bakthavatsalam	2017	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	Chlorophyta

12	Zhou, Peng, et al	2013	<i>Scenedesmus obliquus</i>	Chlorophyta
13	Zhang, Lu, et al	2019	<i>Ulva prolifera</i>	Chlorophyta
14	Wang, Diao, et al	2017	<i>Nannochloropsis sp</i>	diatomea
15	Xiao, Sun, et al	2019	<i>Chlorella vulgaris</i>	Chlorophyta
16	Kong, Yang, et al	2019	<i>Chlorella vulgaris</i>	Chlorophyta
17	Wang, Xue, et al	2016	<i>Chlorella sp</i>	Chlorophyta

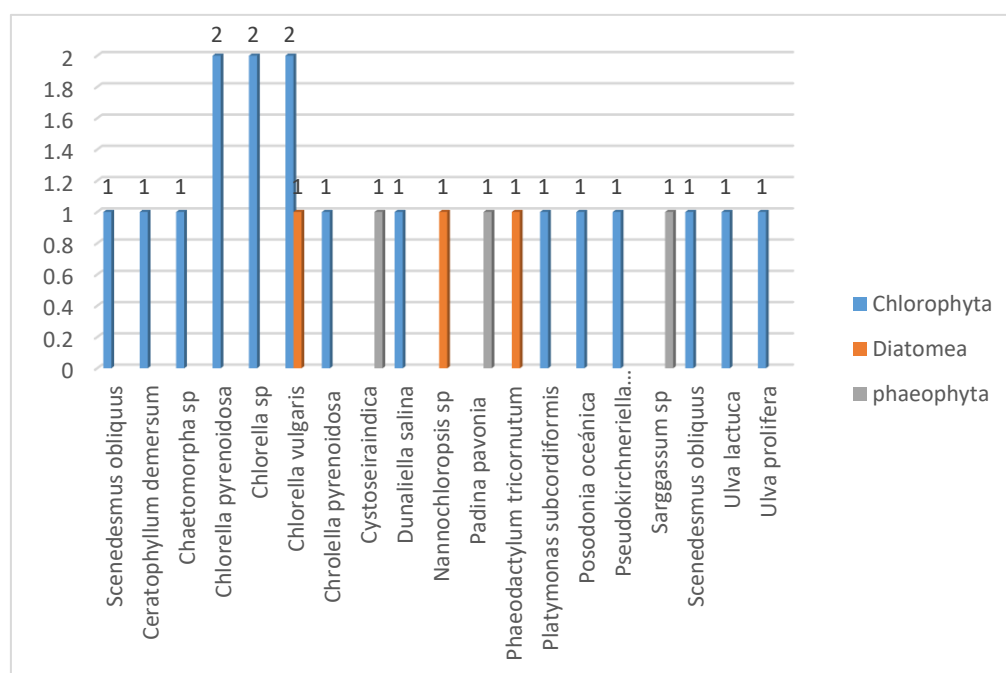


Figura 8. Tipo de alga empleadas en los estudios
Fuente: Elaboración propia

Con respecto al tipo de algas que se aplicaron en los estudios. Varios autores utilizaron más de un tipo de alga para evaluar la eficiencia y la capacidad de cada biomasa en la remoción de fenoles. Como es el caso del autor Duan (2017) que empleo 4 tipos de algas *Dunaliella salina*, *Platymonas subcordiformis*, *Phaeodactylum tricornutum* y *Skeletonema costatum*; y Navarro, Hernandez, et al 2013 que empleo *Sargassum sp*, *Chaetomorpha sp*, *Chlorella vulgaris* y *Ulva Lactuca*. La mayoría de los estudios utilizaron Chlorophytas como biosorventes de compuestos fenólicos. Donde el alga que más se ha utilizado para realizar la experimentación ha sido la *Chlorella*, un genero de alga verde, considerados en el

estudio 2,4,5, 10, 11 15 y 16. Este tipo de algas han sido utilizadas en diferentes estudios como es el caso de Birungi y Chirwa (2015) que utilizo el alga *Chlorella vulgaris* para la eliminación de talio presentes en soluciones acuosas logrando un 100% de remoción. Igualmente, Hossein, Rashki y shahri (2019) utilizo esa alga juntamente con *Spuirulina platensis* para la remoción de metales pesados, logrando tener mayor adsorción el alga *Chlorella vulgaris*. También el estudio de Jaafari, Yaghamaeian (2019) aplico una especie de alga *Chlorella coloniales* para la eliminación de Cr, Co, Fe y As presentes en aguas residuales. El tipo de alga Phaeophyta con 6 estudios incluidos y por último 2 estudios incluyeron diatomeas, según la figura 5.

4.4 Parámetros tomados en cuenta en el proceso de bioadsorción de los estudios incluidos

Tabla 6. Matriz de parámetros para el proceso de bioadsorción

N° estudio	Tamaño partícula biomasa (mm)	Concentración inicial de compuestos fenólicos (mg/L)	Ph (rango)	Cantidad de biomasa (g/L)	T (°C)
1	0.5- 2	50 a 400	3 - 11	0.4	20
2	-	25 - 50	2-10	0-05- 1	25
3	-	20 -160	6-10		20
4	-	35 - 330	-	0.05 a 0.5	30
5	0.1 – 0.18	40 – 300	2-10	0.04 – 0.2	25 ± 1
6	-	100-500	-	0.05-0.4	
7	--	100-500	-	0.2 - 0.1	
8	-	-	8	0.8	24 ± 1
9		800	-	4	
10	2 - 10	282 - 1450	8	2	35 ± 2
11	1	282 ± 1, 564 ± 1,5, 846 ± 2,2 y 1128 ± 2	5-8	-	30 ± 5
12	0.5- 1	0.25–0.5	-	0 - 4	
13	-	0.05 -1	7.84- 8.04	-	10- 30
14	-	1, 3, 5.5, 13.5	-	-	30
15	0.8	0,100,300, 500	-	-	25

16	1 - 1.5	100 a 400	-	0, 2, 5 y 10	25 ± 1
17	-	0, 100, 200, 300 o 500	7	0.2 ,0.4, 0.6 o 1	28 ± 1

Fuente: Elaboración propia

Los parámetros tomados en cuenta en las investigaciones incluidas fueron 5; como se detalla en el cuadro 6. Los parámetros para el proceso de bioadsorción que se incluyen son: el tamaño de partícula de la biomasa, concentración inicial de los compuestos fenólicos en la solución, rango del pH que estuvieron expuestas las muestras, la cantidad de la biomasa de las algas y por último la temperatura.

Analizando el primer parámetro de tamaño de partícula de la biomasa, no todas las investigaciones tenían ese dato, por lo que, de los 17 estudios, 7 mostraban el dato en sus investigaciones. El estudio 5 utilizó tamaño de partícula de la biomasa 0,1 a 0,18 mm, es el estudio que empleó partículas más pequeñas, mientras que el estudio 10 utilizó partículas más grandes oscilando entre 2 y 10 mm. El tamaño de partículas de la biomasa tiene una extraordinaria influencia en la adsorción de electrolitos débiles (Contreras, 2020). En ese sentido a menor tamaño de partícula mayor es la adsorción.

Como segundo parámetro (concentración inicial de compuestos fenólicos) 16 estudios de los 17 estudios incluidos, lo tenían como variable. El estudio 5 trabajó con concentraciones muy bajas de 0.05 a 1, mientras que el estudio 11 trabajó con una variación de concentraciones muy altas oscilando de 282 a 11228. Por otro lado, los estudios 15 y 17 tomaron en consideración una concentración inicial 0 mg/l hasta 500 mg/l.

Respecto al pH, solo 9 estudios consideraron como dato el pH, de los cuales el estudio 8, 10,3 y 17 utilizaron un pH igual y mayor a 7. Los estudios 2 y 5 tuvieron muestras con pH que oscila de 2 a 10, siendo los dos estudios que trabajaron un menor pH. El estudio que trabajó con pH alto fue el estudio 1 que varía entre 3 el mínimo y el máximo de 11.

La cantidad de biomasa que aplicaron los estudios para las muestras experimentales fueron diversas. La mayoría de los estudios utilizaron rangos de 0.04 a 1 g/. Los demás estudios experimentaron con rangos de dosis más altas

como es el caso del estudio 16 que probó dosis desde 0.2 hasta 10 g/l. En definitiva, la eficiencia en la capacidad de remoción de contaminantes aumenta proporcionalmente con el aumento de la cantidad de biomasa.

Por último, con respecto a la temperatura los estudios 2,5,15 y 16 trabajaron con temperatura de 25 °C. La temperatura más baja lo trabajo el estudio 13 con 10°C variando hasta 30°C y la temperatura más alta fue trabajada en el estudio 10 con 35°C. Con respecto al temperatura y la influencia en la capacidad de adsorción, un aumento elevado de la temperatura puede provocar el cambio en el adsorbente y el deterioro del material que ocasiona una pérdida de capacidad de adsorción (Tejada, Villabona y Garces, 2014)

4.5 Parámetros óptimos para el máximo porcentaje de remoción según los estudios incluidos

Tabla 7. Matriz de parámetros óptimos para el máximo porcentaje de adsorción

Nº estudio	Autores	Capacidad máxima de adsorción (%)	Tiempo de contacto (dias)	pH óptimo	Dosis Optima (mg/l)	Concentración de fenol (mg/L)
1	Gholizadeh y Gholami	40	0.08	7.5	50	-
2	Das, Mandal, y Patra	100	7	7.9	10	125
3	Duan, Meng, Lin y Wang	87	4	6	10	150
4	Surkatti y Al-Zuhair	74	5	-	10	95
5	Navarro , et al	82.1	-	10	40	100
6	Ahmed y Abdallah	77.5	-	7	-	200
7	Lazli wassila	86	0.08	-	10	100
8	Aruoja, Sihtmäe, Dubourguier y Kahru	59	0.87	8	-	100
9	Priyadharshini y Bakthavatsalam	97	4	-	4000	800

10	Priyadharshini y Bakthavatsalam	97.4	7	8	1000	800
11	Priyadharshini y Bakthavatsalam	91	7	8	100	282
12	Zhou, et al	73.5	5	-	50	400
13	Zhang, et al	94.3	5	-		100
14	Wang, et al	86	5	7	-	100
15	xiao, et al	100	4	7.1	-	100
16	Kong, et al	30	6	-	200	-
17	Wang, et al	100	7	7	600	500

Fuente: Elaboración propia

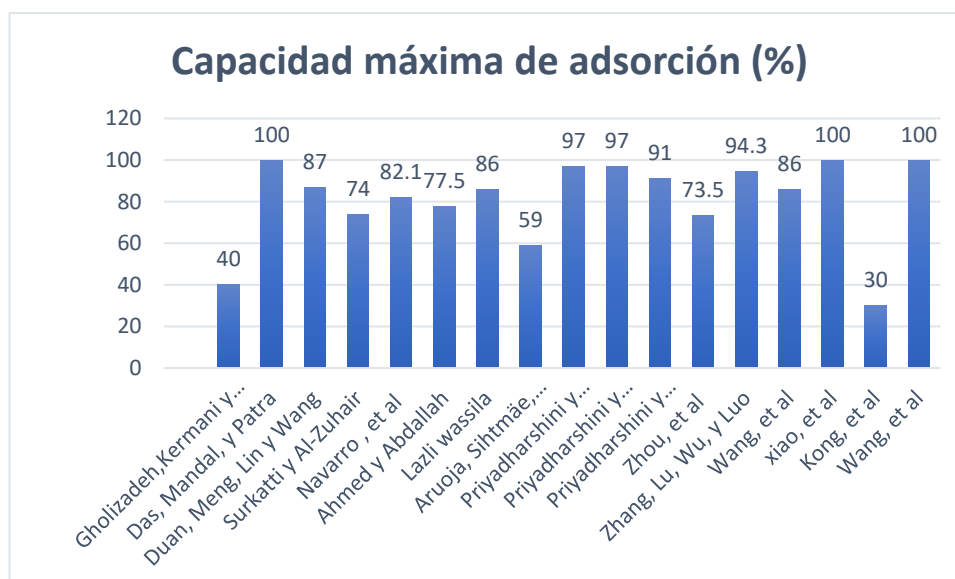


Figura 9. Capacidad máxima de adsorción

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados de las investigaciones incluidas vemos que las máximas capacidades de adsorción se evidencian en 5 estudios principales de , Das, et al (2015) Priyadharshini (2016), Priyadharshini (2019), Xiao, (2019) y Wang, et al (2016), que tuvieron una remoción mayor de 95%, dichos resultados son consecuencia de un buen proceso de bioadsorción, alcanzaron parámetros óptimos. Las algas usadas en los tratamientos de cada estudio también influyen en el proceso de bioadsorción.

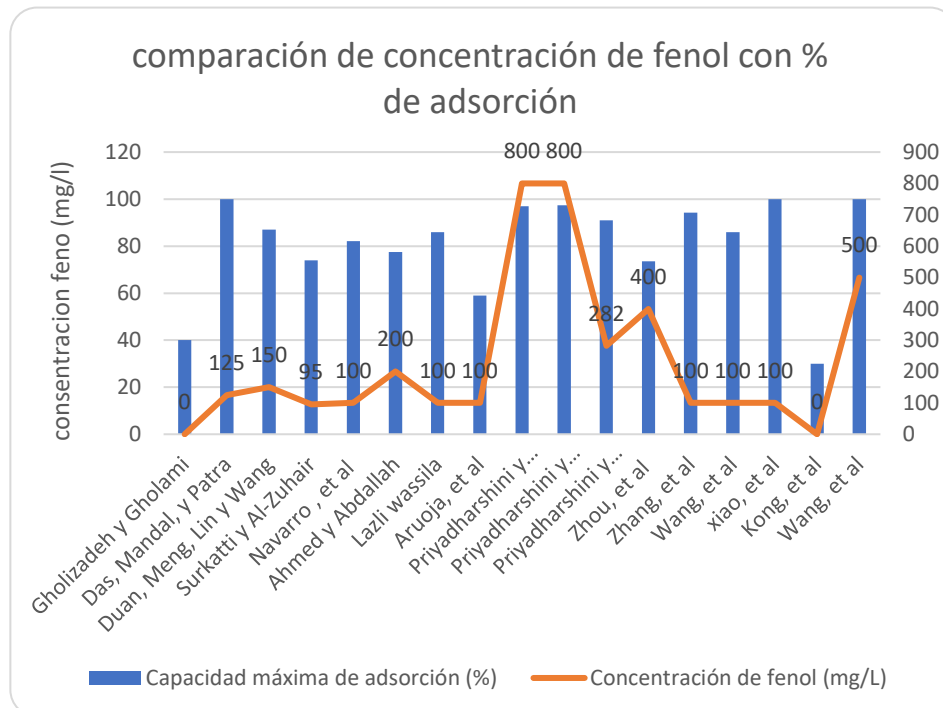


Figura 10. Concentración de fenol de los estudios incluidos
Fuente: Elaboración propia

La mayoría de investigaciones realiza sus respectivos tratamientos con diversas concentraciones de compuestos fenólicos para evaluar el mayor porcentaje de remoción, independientemente de las condiciones operacionales que requiere cada microorganismo. De acuerdo al gráfico los estudios que trabajaron con altas concentraciones de 500mg/l a más fueron en el estudio de Priyadharshini (2016) y Priyadharshini (2019) con 800 mg/L logrando el 97% de eliminación de fenoles. Así mismo el estudio de Wang, et al (2016) con 500 mg/l con 100% de eliminación y el estudio de Zhou, et al (2015) con concentración de 400 mg/l logrando un 73.5 de eliminación de fenol. Un dato muy importante que considero Daos (2015) fue que trabajaron con concentraciones desde 25 mg/l ya que es letal para los peces y la máxima con 200, ya que la concentración de fenol que se encuentra en aguas residuales de refinería.

Es así que las concentraciones más altas de fenoles presentes en cada tratamiento influyen sobre la disminución del porcentaje del mismo (Zhang, 2019). Esta influencia desfavorable para el porcentaje de adsorción de fenoles

se debe a que, a mayores concentraciones de este contaminante en las aguas residuales, el medio se vuelve más tóxico, impidiendo que los microorganismos se desarrollen adecuadamente para realizar la tarea de bioadsorción.

Con respecto al tiempo de contacto las investigaciones que lograron una máxima remoción se dieron en un tiempo óptimo de 0.08 a 7 días. como es el caso de los estudios 1 (Gholizadeh, et al, 2013) y 7 (Lazli,2020) que lograron el máximo porcentaje de remoción en 0.08 días siendo los estudios con menor tiempo que lograron el fin. Por otro lado, los estudios que tomaron mas tiempo en la eliminación de compuestos fenólicos fueron Das (2015), Priyadharshini y Bakthavatsalam (2016), Priyadharshini y Bakthavatsalam (2019) y Wang (2016) con 7 días de tiempo para que logren una mayor eliminación de fenoles. Melendez (2015) obtuvo una capacidad máxima de 96.5% empleando hongo *Pleurotus ostreatus* en un lapso de 1 día con una concentración inicial de 8 mg/l, donde menciona que la tasa de crecimiento del alga influyo en la degradación del fenol

Los estudios que lograron un máximo porcentaje de adsorción en una pH optimo neutro 7 fueron los estudios Ahmed y Abdallah (2013),Priyadharshini y Bakthavatsalam (2016),Priyadharshini y Bakthavatsalam (2019) y Wang (2016), mientras el estudio que logro una eliminación en un pH alto fueron el de Navarro, et al (2017) y el de Das, et al (2015) con 10. Opuesto a ello Priyadharshini y Bakthavatsalam (2016) y Xiao (2019) lograron una mayor adsorción a un pH 4. En otros estudios Guha, et al (2018) optó por el uso de una cepa de cianobacterias *Leptolyngbyasp.*, trabajo con pH de 5-11 y la eliminación máxima de fenol fue de 98.5 % a pH 11. El pH de la solución afecta considerablemente a la carga de la superficie de los absorbentes, al grado de ionización y especiación de los diferentes contaminantes. (Gallo, et al 2017)

Con respecto a la dosis, los estudios que utilizaron altas dosis fueron el estudio de Priyadharshini y Bakthavatsalam (2016) y Priyadharshini y Bakthavatsalam (2019) con 4000 y 1000 mg/L respectivamente, esto se debe

a que trabajaron con concentraciones altas y las aguas provenientes eran aguas residuales de refinería. Lacarra, et al (2014) para una concentración de 50 y 100 mg/l utilizó 2000mg/l de biomasa de alga *Nannochloropsis oculata*, logrando alta eficiencia de remoción. Guha, et al (2018) con cepa bacteriana utilizó concentración máxima de biomasa seca de 20 a 380 g/L.

En general los estudios que lograron un porcentaje de adsorción total fueron el estudio de Xiao, et al (2019) que tuvo una capacidad de remoción del 100% utilizando el alga *Chlorella vulgaris* en aguas residuales provenientes de gasificación de carbón, esto demostró que tolera concentraciones hasta 800 mg/l fenol. El tiempo de contacto óptimo que se logró la eliminación fue en 4 días a una concentración de 100 mg/l con una cantidad de biomasa de 3400 mg.

El tratamiento utilizado por Wang (2016) fue mediante el alga *Chlorella sp.*, que tomó como muestra aguas residuales provenientes de curtiembres. Los resultados obtenidos muestran una capacidad de adsorción del 100% a temperatura de 25°C con una concentración de fenol de 500 mg/l, un tiempo de degradación de 4 días y el pH óptimo de degradación fue de 7. Así mismo Wang nos menciona en su artículo que las concentraciones de biomasa aumentaron inmediatamente cuando *Chlorella sp.* comenzó a degradar el fenol al día 2. También menciona que la biomasa tratada podría tolerar hasta 500-700 mg / L de fenol y tenía tasas de biodegradación de fenol más altas en comparación con las algas no tratadas. Esto quiere decir que la totalidad de remoción de la concentración se debió al tratamiento que se dio a la biomasa.

Por otro lado, los estudios que tuvieron menor capacidad de adsorción fueron los estudios 2 y 16 con una capacidad de adsorción de 35 y 30 %, esto podría ser a que el pH óptimo no fue el adecuado, ya que tuvo un valor de 10 para obtener una máxima capacidad de adsorción. En el estudio 16 esto se debe a que la dosis que emplearon fue muy elevada con un valor de 200 g/l, esto genera una saturación en la solución que no favorece en la captación de los compuestos fenólicos.

Comparando con otros estudios anteriores respecto a la capacidad máxima de adsorción de compuestos fenólicos en la investigación de. Por otro lado Gallo, Rodríguez y Prieto (2017) utilizó como bioadsorbente la ceniza de bagazo de caña de azúcar, teniendo una máxima capacidad de remoción de 62.8% con concentraciones de 31.21 y 500 mg/l en un rango de pH de 6.82 – 7.09, se obtuvo mediante el modelo de Lagmuir y Freundlich. Aylas (2018) logró tener un máximo porcentaje de adsorción a pH menores que 3 y con temperatura 30° c, la dosis que utilizó fue 7.5 g/l de fenol, teniendo una capacidad de adsorción del 99%, lo que ayudó a tener este resultado fue la utilización de cobre en las columnas de carbón activado para optimizar el proceso. Abdallah (2013) usó como biosorventes algas pardas (*Padina pavonia*), macrofitas de agua dulce (*Ceratophyllum demersum*) y residuos del té negro para la eliminación de fenol en aguas acuosas, se identificaron en condiciones óptimas de concentración y pH. Los resultados fueron un 77 % de con C. Demersum, 29% para alga parda y 50 % para los residuos de té negro. Jilani (2015) también utilizó el té verde y té negro, el cual obtuvo como resultado rendimientos máximos de biosorción de hasta 99,68 %.

Los métodos físicos y químicos de degradación del fenol son efectivos solo si el volumen de efluente es pequeño (Navarro 2008). El factor limitante de estos métodos es el costo y la eliminación de lodos. Debido a los problemas asociados con la eliminación de lodos y el lavado de bacterias nitrificantes, la biodegradación de fenol usando bacterias es incapaz de adaptarse de forma continua a gran escala (Priyadharshini, 2019).

VI. CONCLUSIONES

El uso de las algas como bioadsorbente en los últimos tiempos se ha convertido en una alternativa viable y accesible, debido que no genera residuos considerables, es económicamente rentable y es una opción importante en la reducción de la proliferación de las algas.

Se recopilaron 17 estudios de investigación que emplearon diferentes tipos de algas para la eliminación de fenoles y compuestos fenólicos, de las cuales el tipo de algas más utilizadas en las investigaciones son las clorofitas, ya que tiene mayor contenido de clorofila y ulva, este último es un polisacárido con alto contenido de carbohidratos, proteínas y minerales.

Los parámetros tomados en cuenta para el proceso de bioadsorción fueron tamaño de partícula de la biomasa, concentración inicial de compuestos fenólicos, pH, temperatura y tiempo de contacto. Estos parámetros deben ser consideradas de acuerdo a tamaño de muestra que se quiere evaluar.

Según los estudios para lograr la máxima capacidad de adsorción se debe evaluar la cantidad de concentración a evaluar, teniendo en cuenta la cantidad de biomasa y el tamaño de partícula, esto se realiza en función al tiempo de contacto ya que a menor concentración menor es el tiempo en lograr la adsorción.

Cinco estudios presentaron mayor índice de porcentaje de remoción con un valor mayor a 95%. Estos fueron Das, et al (2015) Priyadharshini (2016), Priyadharshini (2019), Xiao, (2019) y Wang, et al (2016) De acuerdo a los parámetros para el proceso de adsorción el tiempo de contacto tuvo un promedio de 5 días, el pH óptimo de 7.4, la dosis optima de la biomasa 2800 mg/l y una temperatura promedio de 30°C.

En el rango de concentración apropiado de fenólico, en comparación con los métodos de procesamiento tradicionales, el adsorbente de biomasa de algas tiene las ventajas de conveniencia, fácil disponibilidad, fácil supervivencia y protección ambiental, pero el exceso de fenólico tiene efectos adversos sobre las células de las algas

VII. RECOMENDACIONES

Investigar sobre mas parámetros o variables que afecten en el proceso de adsorción de compuestos fenólicos a fin de ser consideradas en futuros estudios.

Se recomienda desarrollar investigaciones de diseño experimental con el uso de las algas existentes en el litoral peruano para ver conocer el efecto de adsorción de contaminantes en soluciones acuosas.

Se recomienda investigar otros tipos de bioadsorbente, que sean de bajo costo y eficaces en la remoción de compuestos fenólicos, como es el caso de residuos orgánicos.

Se debe tener en cuenta los parámetros a analizar, para luego generar una tabla y realizar las comparaciones que se requiere, logrando obtener mejores resultados.

BIBLIOGRAFIA

- ARAVINDHAN, R., RAO, J.R. y NAIR, B.U., 2009. Application of a chemically modified green macro alga as a biosorbent for phenol removal. *Journal of Environmental Management*, vol. 90, no. 5, pp. 1877-1883. ISSN 03014797. DOI [10.1016/j.jenvman.2008.12.005](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.12.005).
- ARVIZU-HIGUERA, D.L., 2002. Parameters affecting the conversion of alginic acid to sodium alginate. *Ciencias Marinas*, vol. 28, no. 1, pp. 27-36. ISSN 01853880, 23959053. DOI [10.7773/cm.v28i1.208](https://doi.org/10.7773/cm.v28i1.208).
- BATISTA, PRICILA, TORRES JULIANA, SILVA MARIA, DUARTE ANGELITA, 2015. Immobilized soybean hull peroxidase for the oxidation of phenolic compounds in coffee processing wastewater, *International Journal of Biological Macromolecules*, Volume 81, Pages 568-575. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.08.061>.
- BIRUNGI, Z.S. y CHIRWA, E.M.N., 2015. The adsorption potential and recovery of thallium using green micro-algae from eutrophic water sources. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 299, pp. 67-77. ISSN 03043894. DOI [10.1016/j.jhazmat.2015.06.011](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.06.011).
- GALLO, Y.M., RICO, I.L.R. y GARCÍA, J.O.P., 2017. Influencia del pH y la temperatura en la adsorción de fenol en agua utilizando ceniza de bagazo de caña de azúcar. *Afinidad: Revista de química teórica y aplicada*, vol. 74, no. 579, pp. 176-179. ISSN 0001-9704.
- GARCÍA-RIPOLL, A., AMAT, A.M., ARQUES, A., VICENTE, R., LÓPEZ, M.F., OLLER, I., MALDONADO, M.I. y GERNJAK, W., 2007. Increased biodegradability of UltracidTM in aqueous solutions with solar TiO₂ photocatalysis. *Chemosphere*, vol. 68, no. 2, pp. 293-300. ISSN 00456535. DOI [10.1016/j.chemosphere.2006.12.077](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.12.077).
- JAAFARI J, YAGHMAEIAN K. Optimization of heavy metal biosorption onto freshwater algae (*Chlorella* coloniales) using response surface methodology (RSM), la cual fue publicada en *Chemosphere*. Estudios públicos [en línea] Invierno 2019, Vol, 217. [Fecha de consulta: 20 de agosto del 2010]. ISSN:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653518320800>

LANDEAU, Rebeca. Elaboración de trabajos de investigación a propósito de la falta tectónica de la Resolución Bolivariana [En línea] Venezuela: Editorial alfa, 2007 [Fecha de consulta: 17 de Mayo del 2020]. Disponible en: 26

https://books.google.com.pe/books?id=M_N1CzTB2D4C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

LEE, H.-C., LEE, M. y DEN, W., 2015. Spirulina maxima for Phenol Removal: Study on its Tolerance, Biodegradability and Phenol-Carbon Assimilability. *Water, Air, & Soil Pollution*, vol. 226, no. 12, pp. 1-11. ISSN 0049-6979, 1573-2932. DOI [10.1007/s11270-015-2664-3](https://doi.org/10.1007/s11270-015-2664-3).

LEZAMA GUERRA, K., 2017. *DETERMINACIÓN DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DEL ACEITE DE UVA (Vitis vinífera) OBTENIDO CON Y SIN TRATAMIENTO ENZIMÁTICO* [en línea]. Peru: Universidad Nacional Agraria la Molina. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3005/Q02-L49-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

MELENDEZ, Jose, Et al. Degradación de compuestos fenólicos en efluentes simulados por acción de la enzima lacasa obtenida a partir del hongo *Pleurotus Ostreatus*. Departamento de Ingeniería Química. UNEXPO. [En línea]. 2015. [Fecha de consulta: 12 de septiembre del 2020]. Disponible en <http://www.postgradovipi.50webs.com/archivos/agrollania/2015/agro5.pdf>

MUÑOZ, Florinella. (2014). Descontaminación de fenoles en el efluente de una refinería ecuatoriana, mediante el uso de ozono y combinaciones con peróxido de hidrógeno, *Revista Politécnica*, vol. 34, 16-21.. 34. 16-21.

NAVARRO, A., HERNANDEZ-VEGA, A., MASUD, M., ROBERSON, L. y DIAZ-VÁZQUEZ, L., 2016. Bioremoval of Phenol from Aqueous Solutions Using Native Caribbean Seaweed. *Environments*, vol. 4, no. 1, pp. 1. ISSN 2076-3298. DOI [10.3390/environments4010001](https://doi.org/10.3390/environments4010001).

- NAVARRO, A.E., PORTALES, R.F., SUN-KOU, M.R. y LLANOS, B.P., 2008. Effect of pH on phenol biosorption by marine seaweeds. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 156, no. 1-3, pp. 405-411. ISSN 03043894. DOI [10.1016/j.jhazmat.2007.12.039](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.12.039).
- PEÑARRIETA, J. Mauricio, Tejeda, Leslie, Mollinedo, Patricia, Vila, José L., Bravo, José A. Compuestos fenólicos y su presencia en alimentos. *Revista Boliviana de Química [en línea]*. 2014, 31 (2), 68-81 [fecha de consulta 24 de mayo de 2020]. ISSN: 0250-5460. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=426339682006>
- PÉREZ, M.D.L., 2017. *Manual. Operaciones para la gestión de residuos industriales (UF0289). Certificados de profesionalidad. Gestión de residuos urbanos e industriales (SEAG0108)*. S.I.: EDITORIAL CEP. ISBN 978-84-681-8518-7.
- PRIYADHARSHINI, D. y BAKTHAVATSALAM, K., 2017. Phycoremediation of phenolic effluent of a coal gasification plant by *Chlorella pyrenoidosa*. *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 111, pp. 31-39. ISSN 0957-5820. DOI [10.1016/j.psep.2017.06.006](https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.06.006).
- RUBÍN, E., RODRÍGUEZ, P., HERRERO, R. y SASTRE DE VICENTE, M.E., 2006. Biosorption of phenolic compounds by the brown alga *Sargassum muticum*. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, vol. 81, no. 7, pp. 1093-1099. ISSN 0268-2575, 1097-4660. DOI [10.1002/jctb.1430](https://doi.org/10.1002/jctb.1430).
- SINGH, N. y BALOMAJUMDER, C., 2016. Simultaneous biosorption and bioaccumulation of phenol and cyanide using coconut shell activated carbon immobilized *Pseudomonas putida* (MTCC 1194). *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 1604-1614. ISSN 22133437. DOI [10.1016/j.jece.2016.02.011](https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.02.011).
- TEJADA-TOVAR, C., VILLABONA-ORTIZ, Á. y GARCÉS-JARABA, L., 2015. Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecnológicas*, vol. 18, no. 34, pp. 109-123. ISSN 0123-7799. DOI [10.22430/22565337.209](https://doi.org/10.22430/22565337.209).

- UNESCO. Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos.[En línea] Paris, 2017. [Fecha de consulta:16 de mayo del 2020] recuperado de <https://www.cepal.org/es/notas/informe-mundial-nacionesunidasdesarrollo-recursos-hidricos-2018-soluciones-basadas-la>
- VACCA J, V., COLINA, G., RINCÓN, N., DÍAZ, A., BEHLING, E., MARÍN, J., CHACÍN, E. y FERNÁNDEZ, N., 2012. Adsorción para la remoción de compuestos fenólicos presentes en el efluente de un reactor biológico. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, vol. 35, no. 3, pp. 252-260. ISSN 0254-0770.
- XIAO, M., MA, H., SUN, M., YIN, X., FENG, Q., SONG, H. y GAI, H., 2019. Characterization of cometabolic degradation of p-cresol with phenol as growth substrate by *Chlorella vulgaris*. *Bioresource Technology*, vol. 281, pp. 296-302. ISSN 09608524. DOI [10.1016/j.biortech.2019.02.079](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.02.079).
- ZAZOULI, MA, BALARAK, D, MAHDAVI, Y. Aplicación de Azolla para la eliminación de 2, 4, 6-triclorofenol (TCP) de soluciones acuosas. *Arch Hyg Sci*. 2013; 2 (4): 143149. Disponible en <http://jhygiene.muq.ac.ir/article-1-129-en.html>
- ZHANG, C., LU, J., WU, J. y LUO, Y., 2019. Phycoremediation of coastal waters contaminated with bisphenol A by green tidal algae *Ulva prolifera*. *Science of The Total Environment*, vol. 661, pp. 55-62. ISSN 0048-9697. DOI [10.1016/j.scitotenv.2019.01.132](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.132).
- ZHOU, G.-J., PENG, F.-Q., YANG, B. y YING, G.-G., 2013. Cellular responses and bioremoval of nonylphenol and octylphenol in the freshwater green microalga *Scenedesmus obliquus*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 87, pp. 10-16. ISSN 0147-6513. DOI [10.1016/j.ecoenv.2012.10.002](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.10.002).
- LACARRA R , MEZA, E, ULLOA, et al (2014). Bioremoción de Compuestos Fenólicos por medio de la Microalga *Nannochloropsis Oculata* (Chione cancellata G). En Ríos, N. y Sánchez, J. (Comp.). Memorias del 2do. Congreso Nacional de Tecnologías y Ciencias Ambientales; y del 6to. Congreso Regional de Ciencias Ambientales. (pp. 47). México: ITSON

- DUAN, W., MENG, F., LIN, Y. y WANG, G., 2017. Toxicological effects of phenol on four marine microalgae. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, vol. 52, pp. 170-176. ISSN 13826689. DOI [10.1016/j.etap.2017.04.006](https://doi.org/10.1016/j.etap.2017.04.006).
- AVENDAÑO, g. c, LOPE, a y PALOU, e, 2013. Propiedades de alginato y aplicaciones en alimentos. , vol. 7, no. 1, pp. 87-96.
- ABDALLAH, M.A.M., 2013. The potential of different bio adsorbents for removing phenol from its aqueous solution. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 185, no. 8, pp. 6495-6503. ISSN 0167-6369, 1573-2959. DOI [10.1007/s10661-012-3041-y](https://doi.org/10.1007/s10661-012-3041-y).
- GHOLIZADEH, A., KERMANI, M., GHOLAMI, M. y FARZADKIA, M., 2013. Kinetic and isotherm studies of adsorption and biosorption processes in the removal of phenolic compounds from aqueous solutions: comparative study. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, vol. 11, no. 1, pp. 29. ISSN 2052-336X. DOI [10.1186/2052-336X-11-29](https://doi.org/10.1186/2052-336X-11-29).
- JILANI, H., CILLA, A., BARBERÁ, R. y HAMDÍ, M., 2015. Biosorption of green and black tea polyphenols into *Saccharomyces cerevisiae* improves their bioaccessibility. *Journal of Functional Foods*, vol. 17, pp. 11-21. ISSN 17564646. DOI [10.1016/j.jff.2015.05.006](https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.05.006).
- CONVERTI, A., NAKAGAWA, M., PIGATTO, G. y LODI, A., 2015. UN NUEVO ENFOQUE CINÉTICO Y TERMODINÁMICO DE LA BIOSORCIÓN DE FENOL POR CHITOSAN. , vol. 14, no. 5, pp. 1231-1240. ISSN 1582-9596. DOI [10.30638/eemj.2015.133](https://doi.org/10.30638/eemj.2015.133).
- NGUYEN, M.L. y JUANG, R.-S., 2015. Improved biosorption of phenol using crosslinked chitosan beads after modification with histidine and *Saccharomyces cerevisiae*. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, vol. 20, no. 3, pp. 614-621. ISSN 1226-8372, 1976-3816. DOI [10.1007/s12257-015-0039-7](https://doi.org/10.1007/s12257-015-0039-7).
- DAS, B., MANDAL, T.K. y PATRA, S., 2015. A Comprehensive Study on *Chlorella pyrenoidosa* for Phenol Degradation and its Potential Applicability as Biodiesel Feedstock and Animal Feed. *Applied Biochemistry and*

Biotechnology, vol. 176, no. 5, pp. 1382-1401. ISSN 0273-2289, 1559-0291.
DOI [10.1007/s12010-015-1652-9](https://doi.org/10.1007/s12010-015-1652-9).

GUHA, S., AAKULA, M., CHAKRABARTY, J. y DUTTA, S., 2018. Bioremediation of phenol from synthetic and real wastewater using *Leptolyngbya* sp.: a comparison and assessment of lipid production. 3 *Biotech*, vol. 8, no. 4, pp. 206. ISSN 2190-572X, 2190-5738. DOI [10.1007/s13205-018-1229-8](https://doi.org/10.1007/s13205-018-1229-8).

ELIZONDO, S.G. y MENDOZA, D., 2018. Desarrollo de Hidrogeles de Alginato para Úlceras Diabéticas. [en línea]. Argentina: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA. Disponible en: <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/11401/Proyecto%20Integrador%20Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

SAYADI, M.H., RASHKI, O. y SHAHRI, E., 2019. Application of modified *Spirulina platensis* and *Chlorella vulgaris* powder on the adsorption of heavy metals from aqueous solutions. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 7, no. 3, pp. 103169. ISSN 22133437. DOI [10.1016/j.jece.2019.103169](https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103169).

PRIYADHARSHINI, D. y BAKTHAVATSALAM, K., 2019. A comparative study on growth and degradation behavior of *C. pyrenoidosa* on synthetic phenol and phenolic wastewater of a coal gasification plant. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 7, no. 3, pp. 103079. ISSN 22133437. DOI [10.1016/j.jece.2019.103079](https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103079).

AHMED, S., 2019. *Alginates: applications in the biomedical and food industries*. Hoboken, NJ: Scrivener Publishing/Wiley. ISBN 978-1-119-48798-2. TP248.65.P62

ALVES, D.C.S., COSEGLIO, B.B., PINTO, L.A.A. y CADAVAL, T.R.S., 2020. Development of *Spirulina*/chitosan foam adsorbent for phenol adsorption. *Journal of Molecular Liquids*, vol. 309, pp. 113256. ISSN 01677322. DOI [10.1016/j.molliq.2020.113256](https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113256).

ANEXO

Anexo 1. Instrumentos de análisis de datos de parámetros para el proceso de bioadsorción

[illegible]



Dr. Elmer G. Benites Alfaro,
CIP. 71998
ORCID ID: 0000-0003-1504-2089
Scopus ID de autor: 57216176765
Web of Science Researcher ID: AAI-8644-2020


Dr. Eusebio Horacio Acosta Suasnavar
CIP N° 25450

Alentamento
Jtán Julio Ordóñez Gallo
DNI: 08447308

Anexo 1. Instrumentos de análisis de datos de las características de las algas

[illegible]


Dr. Eusebio Horacio Acosta Suasnabar
CIP N° 25450


Dr. Elmer G. Benites Alfaro,
CIP. 71998
ORCID ID: 0000-0003-1504-2089
Scopus ID de autor: 57216176765
Web of Science Researcher ID: AAI-8644-2020

Alentamente,

Juan Julio Ordóñez Galvaz

DNI: 68447308